М.Ганбат, Б.Бурмаа, Ц.Амартайван, Б.Бат-Отгон, Г.Зоригт,
Я.Мөнхсайхан, Д.Үүрийнтуяа, Б.Түвдэндорж

ФИЗИК
X

Ерөнхий боловсролын 12 жилийн сургуулийн
10 дугаар ангийн сурах бичиг

Боловсрол, Шинжлэх Ухааны Яамны
зөвшөөрлөөр хэвлэв.

Дөрөв дэх хэвлэл

Улаанбаатар хот
2023 он

ННА 74.2
ДДА 373
Ф-503

Физик X: Ерөнхий боловсролын 12 жилийн сургуулийн 10 дугаар ангийн сурах бичиг.
/Ганбат М., ба бус; Ред. Ш.Жаргалсүрэн - УБ.2017.- 148х.

Сурах бичгийн талаарх аливаа санал, хүсэлтээ textbook@agency.edu.mn хаягаар ирүүлнэ үү.

ISBN 978-99978-61-24-5

ӨМНӨХ ҮГ

Бид шинэ мянганд, шинэ зуунд аж төрж байна. Энэ зууны онцлог нь шинжлэх ухаан, технологийн хөгжил урьд өмнө байгаагүйгээр эрчимжиж, тэр хэрээр хүний амьдрал, байгаль орчинд илэрч байгаа гэнэтийн өөрчлөлтүүд бидний ирээдүй ямар байхыг урьдчилан төсөөлөхөд ч бэрх байдлыг үүсгэж байна. Юутай ч мэдэгдэж байгаа зүйл бол хувь хүн өндөр боловсролтой, өндөр ёс суртахуунтай, бусдаас ялгагдах өөрийн гэсэн онцлог чадамжтай байж гэмээ нь өрсөлдөөнд тэсэж үлдэх; хамтаараа өөрийн онцлогтой тогтвортой хөгжлийн жамыг мөрдөх явдал болж байна. Шинэ зууны Дэлхийн Монгол Иргэний бүрэн дунд боловсролын нэгээхэн хэсэг нь байгалийн ухаан буюу шинжлэх ухааны боловсрол юм. Шинжлэх ухааны боловсролоор хүн төрөлхтний олон зууны туршид хуримтлуулсан оюуны өв соёл болох шинжлэх ухааны мэдлэгээс гадна шинжлэх ухаанч хандлага, чадамжид суралцах нь чухал юм. Энд физик нь байгалийн ухааны суурь болохын хувьд чухал байр эзэлдэг. Орчин үед физикийн онол, арга хэрэглэгдээгүй ганц ч багаж техник, тоног төхөөрөмж, барилга байгууламж байхгүй. Энэ үүднээс физик нь бүх шинжлэх ухаан, инженер техник, хөдөө аж ахуй, анагаах ухааны мэргэжлийн суурь болдог.

Бүрэн дунд боловсролын хүрээнд физикийг 3 шаттай судлах болно. 10–р ангид бид Механик, Дулаан, Долгион ба дуу, Цахилгаан соронзон, Хэмжилтийн үр дүнг боловсруулах арга зүй гэсэн бүлгүүдийг судална.

Механик бүлгээр урт, цаг хугацаа, массын эталоныг бүтээсэн түүх, биеийн байрлал, шилжилт хөдөлгөөнийг илэрхийлэх арга, хүчний төрөл, хүчийг вектороор дүрслэх, массын ба хүндийн төв, хүчний эргүүлэх моментын талаар гүнзгийрүүлэн судална.

Дулаан бүлгээр бодисын агрегат төлөв, хатуу шингэн хийн тэлэлтийн тухай, түүний амьдрал практик дахь хэрэглээ, термометрийн үндэс, дулааны тоо хэмжээг тооцоолох аргын талаар танилцаж, янз бүрийн процессын үеийн энергийн өөрчлөлтийг тооцоолж сурна.

Долгион ба дуу бүлгээр пүрш, усны гадаргын үзэгдэх долгионыг судлахаас эхлээд агаар болон орчин дахь долгион, түүнийг илэрхийлэх хэмжигдэхүүнүүдтэй танилцаж, долгионы ойх, хугарах үзэгдлийн илрэлийг гүнзгийрүүлэн судална.

Цахилгаан соронзон бүлгээр орчин үеийн тоон төхөөрөмжийн үндэс болсон электрон систем, электрон хэлхээ, элементүүд, логик үйлдлүүд, тэдгээрийн хэрэглээний талаар судална.

Хэмжилтийн үр дүнг боловсруулах арга зүй бүлгээр хэмжил зүйн үндэстэй танилцана. Тухайлбал, багажийн хэмжих хязгаар, нарийвчлалыг тооцох, тоог утгат орноор тоймлох аргыг хэмжилтийн үр дүн боловсруулахад хэрхэн ашиглах, хүснэгт, график, диаграммаар илэрхийлэх талаар судална. Мөн хэмжилтийн алдааг тооцоолох, илэрхийлэх, үнэлэх аргатай танилцана.

Бодлого бүлэгт эзэмшсэн мэдлэг, чадвараа шалгах, мэдлэгээ ашиглан асуудал шийдвэрлэхэд чиглэсэн нээлттэй тавилтай бодлогуудыг оруулсан болно. Иймд физикийг хэдэн хууль, томьёо, бодлого дасгал, тест гэж харахгүйгээр ирээдүйн мэргэжлийн суурь гэсэн утгаар хандахыг хүсэж байна.

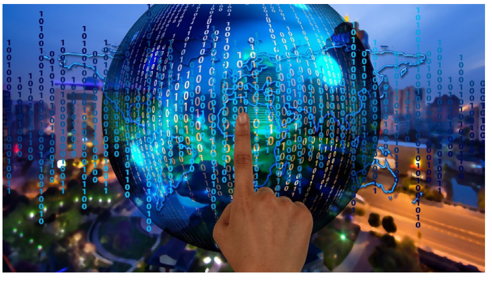
Сурах бичиг зохиогчид

ГАРЧИГ

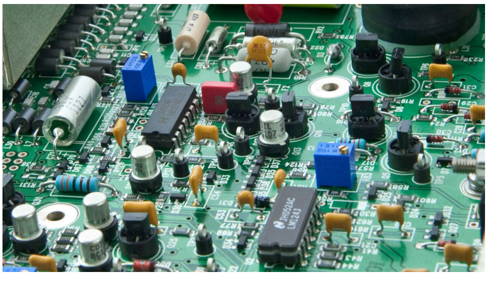
Бүлэг 1. МЕХАНИК

Бүлэг 2. ДУЛААН

Бүлэг 3. ДОЛГИОН БА ДУУ



Бүлэг 4. ЦАХИЛГААН СОРОНЗОН



Бүлэг 6. БОДЛОГО

Бүлэг 1

Механик

Физик хэмжигдэхүүний тухай болон хэмжигдэхүүний тоон утгыг илэрхийлэх утгат цифрийн тухай ойлголтыг авч, механик хөдөлгөөнийг тодорхойлох тооллын систем, хэмжигдэхүүнүүд, хөдөлгөөний вектор тэгшитгэлийг проекцлон тооцоолох арга, хүчнүүдийн хэлбэрүүдийг танин нэрлэж, чиглэл болон хэмжээг тооцох аргын тухай өгүүлнэ. Массын төвийг координатын системд тодорхойлох аргыг болон эргүүлэх харилцан үйлчлэлийг илэрхийлэх хэмжигдэхүүн, хүчний моментын тухай ойлголтыг ашиглан автомат хурдны хайрцаг хэрхэн ажилладаг болохыг судална.

БҮЛГИЙН АГУУЛГА

1. ХЭМЖИЛТ

Үндсэн физик хэмжигдэхүүн ба нэгж

Бид амьдралдаа маш олон тооны шинж чанар, үзэгдэлтэй учирч байдаг. Материйн хэмжигдэх шинж чанарыг тоогоор илэрхийлэхийн тулд хэмжигдэхүүнийг ашигладаг. Урт богино, өндөр нам, хол ойр зэрэг шинж чанарыг урт гэдэг хэмжигдэхүүнээр, орон зайг эзлэх овор хэмжээг эзлэхүүн гэдэг хэмжигдэхүүнээр илэрхийлэх жишээтэй. Хэмжигдэхүүн бүр өөрийн өвөрмөц тодорхойлолт, тэмдэглэгээ, хэмжих нэгж, тодорхойлох аргатай байдаг. Хүн төрөлхтний хөгжлийн явцад улс орон бүхэнд олон тооны үндэсний нэгж бий болж ахуй амьдралдаа хэрэглэж ирсэн байдаг.

Хэмжилт хийхийн тулд эхлээд тогтвортой буюу хувьсаж өөрчлөгдөхгүй зүйлийг нэгж болгон авч түүнийг хэдэн удаа бүхэл ба бутархайгаар багтсан тоог бичиж араас нь нэгжийг бичдэг заншилтай.

Хэмжигдэхүүн= тоон утга · нэгж

“Есөнхүй мэргэн 335 алд газар харваж түрүүлжээ” гэсэн мэдээллийг шинжлэх ухааны бичиглэлд оруулбал “харвасан зай = 335 · алд” хэлбэртэй болно. Тэгш өнцөгт саванд 27 ижил шоо хийхэд дүүрсэн гэвэл савны багтаамжийн хэмжээ нь савны урт, өргөн, өндрийн үржвэр биш, харин хорин долоог үржүүлэх нь нэгж шооны эзлэхүүн байх болно: савны багтаамж = 27 · шооны эзлэхүүн. Энд шооны эзлэхүүн нь багтаамжийг хэмжих нэгж болж байгаа юм. Машины хөдөлгүүрийн багтаамж 2200 cc=2200 cube cm гэвэл багтаамжийг хэмжсэн нэгж нь см- куб болно.

Шинжлэх ухааны хөгжлийн явцад нэгжийн системийг нэгтгэх, стандартчилах зайлшгүй шаардлага тулгарчээ. 1875 онд Олон Улсын Жин Хэмжүүрийн Товчоо (CGPM) байгуулагдаж, хэмжилзүйн стандарт, нэгжийн систем, эталон тогтоох ажил эрхлэх болсон. Олон улсын хэмжээнд стандартчилсан нэгжийн системийг СИ (International System of Units -SI) гэдэг. СИ–д 7 хэмжигдэхүүний нэгжийг үндсэн нэгж болгон авдаг. Үндсэн нэгжийг ашиглан тодорхойлолтын тэгшитгэлээр бусад уламжилсан хэмжигдэхүүн ба харгалзах нэгжийг гаргадаг. Түүнээс гадна СИ –ийн бус нэгжүүдийг шинжлэх ухаанд өргөн хэрэглэдэг.

Си-системийн үндсэн физик хэмжигдэхүүн ба нэгж

Хүснэгт 1.

Нэр	Хэмжээсийн тэмдэглэгээ	Нэр		Тэмдэглэгээ	
		Монгол	**Англи**	**монгол**	**олон улсын**
Урт	L	метр	metre	м	m
Масс	M	килограмм	kilogram	кг	kg
Хугацаа	T	секунд	second	с	s
Гүйдлийн хүч	I	ампер	ampere	A	A
Термодинамик температур	Θ	кельвин	kelvin	К	K
Бодисын тоо хэмжээ	N	моль	mole	моль	mol
Гэрлийн хүч	J	кандела	candela	кд	cd

Үндсэн физик хэмжигдэхүүнүүдийн хооронд үржүүлэх, хуваах математик үйлдэл хийх замаар уламжилсан хэмжигдэхүүн, уламжилсан нэгжийг гаргаж авдаг. Уламжилсан нэгжийг илэрхийлэх математик илэрхийллийг физик хууль юм уу физик хэмжигдэхүүний тодорхойлолтоос гарган авдаг. Жишээлбэл, хурд – зам ба хугацааны харьцаагаар тодорхойлогдоно. Иймд нэгж нь 1 м/с.

Тусгай тэмдэглэгээтэй уламжилсан нэгжүүд

Хүснэгт 2.

Хэмжигдэхүүн	Нэгж		Тэмдэглэгээ		Үндсэн нэгжээр илэрхийлбэл
	монгол нэршил	**англи нэршил**	**монгол**	**олон улсын**	
Хавтгай өнцөг	радиан	radian	рад	rad	$м \cdot м^{-1} = 1$
Биет өнцөг	стерадиан	steradian	ср	sr	$м^2 \cdot м^{-2} = 1$
Температур Цельсийн	Цельсийн градус	degree Celsius	°C	°C	K
Давтамж	герц	hertz	Гц	Hz	$с^{-1}$
Хүч	ньютон	newton	Н	N	$кг \cdot м \cdot с^{-2}$
Энерги	жоуль	joule	Ж	J	$Н \cdot м = кг \cdot м^2 \cdot с^{-2}$
Чадал	ватт	watt	Вт	W	$Ж/с = кг \cdot м^2 \cdot с^{-3}$
Даралт	паскаль	pascal	Па	Pa	$Н/м^2 = кг \cdot м^{-1} \cdot с^{-2}$
Цахилгаан цэнэг	кулон	coulomb	Кл	C	$А \cdot с$
Хүчдэл	вольт	volt	В	V	$Ж/Кл = кг \cdot м^2 \cdot с^{-3} \cdot А^{-1}$
Эсэргүүцэл	Ω	ohm	Ом	Ω	$В/А = кг \cdot м^2 \cdot с^{-3} \cdot А^{-2}$
Соронзон урсгал	вебер	weber	Вб	Wb	$кг \cdot м^2 \cdot с^{-2} \cdot А^{-1}$

Хэмжигдэхүүн ба нэгж бичих дүрэм

- Физик хэмжигдэхүүнийг италикаар, грек үсгийг босоогоор бичнэ.
  Буруу бичлэг: F, v, a, ρ,
  зөв бичлэг: F, v, a, ρ.
- Нэгжийг босоо шрифтээр бичнэ. Буруу бичлэг: 1 *г/см³*, зөв бичлэг: 4200 Ж/(кг·град).
- Тоон утгыг босоогоор бичнэ. Буруу бичлэг: *8,9* г/см³, зөв бичлэг: 8.9 г/см³.
- Тоон индекс ба зэргийг босоогоор бичнэ. Буруу бичлэг: $F_{үр1}$=3 Н, V_2=12 $см^3$, зөв бичлэг: $\mathrm{F}_{\mathrm{үр1}}$= 3 Н, V_{2}= 12 см³.
- Тоон утга ба нэгжийн тэмдэглэгээний хооронд пробел буюу зай гаргадаг. Буруу бичлэг: 2Ω, 20м, зөв бичлэг: 2 Ω, 20 м, 10 м/с, 15 °C, 15°, 70%.
- Хэрэв тоон утга ташуу хуваах тэмдэгтэй бол түүнийг хаалтанд хийнэ: (1/60) $с^{-1}$.
- Алдааны интервалыг дараах хэлбэртэй бичнэ: (100.0 ± 0.1) кг, 50 г ± 1 г.
- Нэгжийн тэмдэглэгээнд үржүүлэх тэмдэг орвол дундах цэгээр тэмдэглэнэ (Н·м, Па·с), «×» үржүүлэх тэмдэг бичихгүй.
- Тэмдэглэгээнд хуваах тэмдгийг хэвтээ ба ташуу зураасаар тэмдэглэх үедээ зөвхөн нэг удаа ашиглана. Буруу бичлэг: Вт/м/К, Вт/м·К, зөв бичлэг: Вт/(м·К).
- Нэгжийг зэрэгт хэлбэрээр бичиж болно: $Вт·м^{-2}·К^{-1}$, $А·м^2$. Сөрөг зэрэг ашиглах үедээ хэвтээ болон ташуу зураас (хуваах тэмдэг) хэрэглэхгүй.
- Бүтэн бичлэг ба тэмдэглэгээг хольж болохгүй. Буруу бичлэг: км/цаг, гр/см³. зөв бичлэг: км/ц, г/см³.
- Хүний нэрээр нэрлэгдсэн нэгжийн толгойн үсгийг томоор бичдэг: ампер — А, мегапаскаль — МПа, килоньютон — кН, гигагерц — ГГц. Харин үсгээр бичихдээ жижгээр бичнэ. Буруу бичлэг: 2 Ньютон, зөв бичлэг: 2 ньютон.

Нэгжийн угтвар

Практикт СИ–ийн нэгжийн өмнө угтвар бичиж, арвын зэргээр ихэсгэсэн ба багасгасан нэгжийг үүсгэж хэрэглэдэг. Жишээ:

1 нанометр=0.000 000 001 м,

1 киловольт=1000 В,

1 микроампер=0.000 001 А.

Хүснэгт 3

Угтвар		Тэмдэглэгээ		Угтвар		тэмдэглэгээ	
10^1	дека	да	da	**10^{-1}**	деци	д	d
10^2	гекто	г	h	**10^{-2}**	санти	с	c
10^3	кило	к	k	**10^{-3}**	милли	м	m
10^6	мега	М	M	**10^{-6}**	микро	мк	μ
10^9	гига	Г	G	**10^{-9}**	нано	н	n
10^{12}	тера	Т	T	**10^{-12}**	пико	п	p
10^{15}	пета	П	P	**10^{-15}**	фемто	ф	f

Зураг 1.

Метр – уртын нэгж

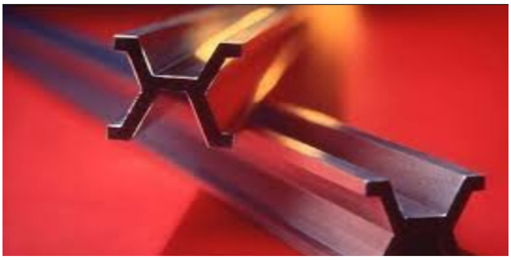
Дундад зууны үед худалдааны газар бүр урт ба жингийн өөрийн шинжүүр гаргах болж үнэнч шударгаар худалдаа хийхэд хүндрэл учрах болжээ. Эндээс улс орнуудын уламжлал ёс заншил, төрийн эрх мэдэлтнүүдийн алдар цуугаас хамаарахгүй дэлхий нийтэд өнө удаан хэрэглэгдэх эталон нэгж гаргах шаардлага тулгарсан.

1790 онд Францын академийн хурлаас уртын нэгжийг метр (эртний грекээр хэмжээс гэсэн утгатай) гэхээр тогтож 1 м бол 45° өргөрөг дэх 1 с хагас үетэй дүүжингийн урт гэж зарласан. (Энэ нь үнэндээ 0.981 м байв).

Үүнийг хангалтгүй гэж үзсэн учраас Францын хувьсгал ид явагдаж байсан 1792 онд Ж.Б.Деламбр ба П.Ф.Мешен нарт Францын академиас "Дэлхийг" хэмжиж нэгж гаргах даалгавар өгчээ. Тодруулбал, Испаний Барселон, Францын Дюнкирхийг дайрч өнгөрдөг Парисын голдож (меридиан)-ийн уртыг хэмжих ёстой болов. Геркулес баатрын гүйцэтгэвэл зохих энэ даалгаврыг жилийн дотор хийнэ гэж төлөвлөсөн ч үнэндээ 6 жил зарцуулжээ.

Ж.Б.Деламбр ба П.Ф.Мешен нарын гаргасан санаа: Барселоноос Дюнкирх хүртэлх зайг хэмжээд экватороас хойд туйл хүртэл зайг тооцоолж олохоор тогтсон. Үүний тулд Деламбр, Мешен нар эдгээр хотын газар зүйн өргөргийг сайтар хэмжиж, тэдгээр хотын зай 9°40′ болохыг олж, улмаар пропорц хэрэглэж экватор ба хойд туйлын хоорондох зайг тооцоолжээ. Энэ зайн арван саяны нэгийг ($1/10000000 = 1/10^7$) уртын эталон болгож нэг метр гэх санал дэвшүүлжээ. Тэд Барселон – Дюнкирхийн хоорондох зайг триангуляцийн аргаар олж шаталсан гурвалжин байгуулж хэмжсэн ба алдааг багасгахын тулд нэг өнцгийг 1800 удаа хэмжиж статистик боловсруулалт хийжээ. Гэвч энэ нэгж тогтоох маш хүндрэлтэй аргаас татгалзаж уртын хялбар хэмжээс бүтээх шаардлага тулгарав. Эталон болгож ямар нэг тогтвортой урттай биетийг сонгож битүүмжлэх боломжтой юу гэсэн асуудал тавигдав.

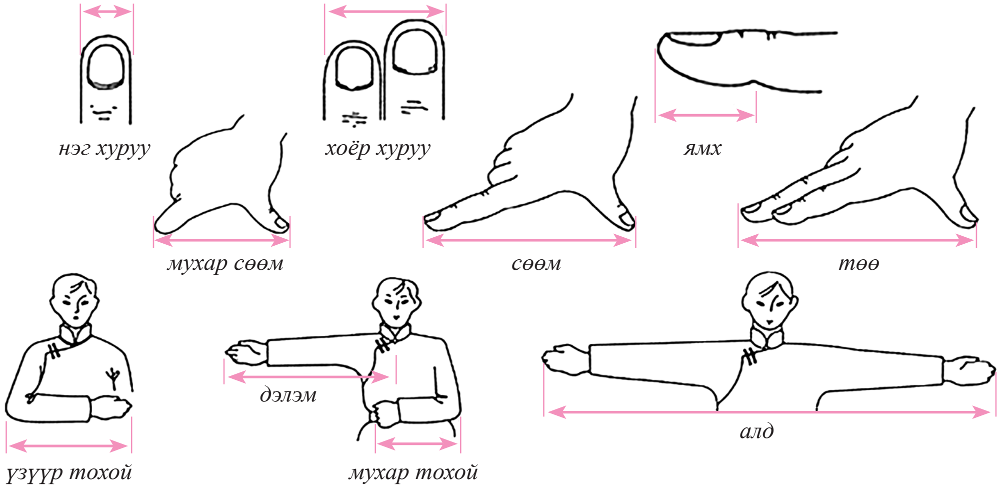
1799 онд титанаар метрийн эталон бүтээсэн. Наполеоны засаглалын үед метрийн систем бүх Европоор түгсэн. Харин Наполеонд эзлэгдээгүй Англи улс дюйм, фут ба ярд нэгжээ хэрэглэсээр үлдсэн. 1889 онд цагаан алт ба иридийн хайлшаар "Х" хэлбэртэй хөндлөн огтлол бүхий эталон бүтээж Парист түүх болгон хадгалж байдаг.



Зураг 2.

Хоёр зууны тэртээ Деламбр, Мешен нарын хийсэн хотын хоорондох зайг орчин үеийн төхөөрөмжөөр хэмжихэд ердөө 2 км–ийн зөрүү гардаг байна.

Орчин үед 1/299792458 сек хугацаанд вакуумд гэрэл туулах зайг уртын нэгж метр болгон авдаг.



Зураг 3.

Асуулт Утсан дүүжин ба дэлхийн голдожоор илэрхийлсэн метр нэгжийн дутагдалтай тал юу вэ?

Монгол үндэстний уртын уламжлалт нэгжийн талаар танилцуулна уу?

Английн уртын уламжлалт нэгжийн талаар танилцуулга хийнэ үү.

- mile = 1.609 344 км
- yard= 91.44 см
- feet= 30.48 см
- inch= 2.54 см

Асуулт Машины хурдны нэгж 1 mph= 1 miles per hour=1.609 км/ц. Машин УБ хотын гудамжаар 60 mph хурдтай явсан бол хэдэн км/ц хурдтай байсан бэ? Хурд хэтрүүлсэн үү?

40 инчийн телевизор гэвэл телевизорын дэлгэцийн талбай ямар хэмжээтэй вэ? Телевизийн дэлгэцийн урт, өргөний харьцаа 2:1 байдаг.

Секунд –хугацааны нэгж

Хүн төрөлхтөнд эрт дээр үеэс цаг хугацааг нарийн тоолох шаардлага тулгарч байжээ. Амуу тариагаа хэзээ тарих, Нил мөрөн хэзээ үерлэх, далайн таталт түрэлт хэзээ болох, улс гүрний түүхийг тэмдэглэх гэх мэтчилэн олон асуултад хариулахад цаг тооллын асуудал хөндөгддөг. Хугацааны үндсэн нэгжээр дэлхийн тэнхлэгээ эргэх, нарыг тойрох, сар дэлхийг тойрох үеийг эртнээс авч ирсэн уламжлалтай.

Эрт үеэс хугацааны хамгийн бага нэгжээр хоногийг авч ирсэн. Түүнийг хувааж бага *нэгж* гаргадаг. Хоногийг 24 *цаг*, цагийг 60 *минут*, минутыг 60 *секунд* болгон хуваана.

Хоногийн хугацааг илэрхийлэх хоёр систем бий:

- Францын: Хоногийг шууд 24 цагт хуваадаг. Цагийг 0–ээс 23 хүртэл дугаарлана.
- Английн: Хоногийн эхний хагасыг AM (Ante Meridiem-үд хүртэл), хоёрдахь хагасыг PM (Post Meridiem–үдээс хойш) гэж хуваана. Оройн 7 цаг 14 минутыг францын системээр 19:14, англи системээр 7:14 PM гэнэ.

Нар харагдахгүй (шумбагч онгоц, уурхай, метро, туйлын муж) газарт зүүтэй цаг өдөр шөнө нь ялгагдахгүй хүндрэл учруулдаг.

Хоногийн үргэлжлэх хугацаа тогтмол биш. Нар, сарны таталцлын улмаас дэлхийн эргэлтийн хурд багасаж байдаг. Сүүлийн 100 жилд хоногийн үргэлжлэх хугацаа 0.0014 секундээр нэмэгджээ. Хоногийн үргэлжлэх хугацаа урт хугацаанд өөрчлөгдөхөөс гадна улирлын чанартай өөрчлөгддөг. 3-4 сард удаан, 7-8 сард хурдан буюу богино хоног байдаг. Мөн хүчтэй газар хөдлөлтийн үед дэлхийн эргэлт өөрчлөгддөг нь батлагдсан. Иймд хоногийг үндсэн нэгж болгох боломжгүй болсон.

Хугацааг хэмжихийн тулд тогтмол үетэй давтагдах процессыг ашигладаг. Хугацааны эталон бүтээхийн тулд маш тогтвортой процессыг хайж олох ёстой. Эрдэмтэд тэнгэрийн эрхсийн хөдөлгөөнтэй холбоотой процесс шаардлага хангаагүй учир атомын дотор явагдах процессыг хугацааны нэгж тодорхойлоход ашиглахаар шийдсэн.

Олон улсын нэгжийн систем (СИ)–д хугацааны үндсэн нэгжээр секундийг авдаг. 1997 онд олон улсын нэгжийн системд 0К температурт тайван байгаа цезий –133 атомын хэт нарийн түвшний хоорондох шилжилтэд харгалзах цацаргалтын үеийг 9 192 631 770 дахин авсантай тэнцүү хугацааг 1 секунд гэхээр тогтсон.

Секунд-1 с–д эрүүл хүний зүрх ойролцоогоор нэг цохидог, дэлхий нарыг тойрон 30 километр зайд, нар галактикийг тойрон 274 километр зайд, нарны гэрэл 300 000 км орчим зай туулдаг.

Миллисекунд (1 мс=1/1 000 с) -гэрэл зургийн аппаратын гэрэл анивчих хугацаа. Ялаа 3 мс, зөгий 5 мс хугацаанд далавчаа нэг удаа дэвнэ. Жил тутам сар дэлхийг тойрох хугацаа 2 мс–ээр багасаж, тойрог зам аажим тэлж байна.

Микросекунд (1 мкс=1/1 000 000 с) - хоёр ган бөмбөлгийн мөргөлдөх хугацаа. Сумны нисэлт, үлээсэн бөмбөлгийн тэсрэлт, их хурдны зургийн аппаратын кадр солих хугацаа, эмнэлгийн эхо оношилгооны

аппаратын хэт авианы хэлбэлзлийн үеийг микросекундээр хэмждэг. Энэ хугацаанд дуу төмөр дотор 5 мм зайд тарна. 23 мс хугацаанд гранат тэсэрнэ.

Наносекунд (1 нс=1/1 000 000 000 с) Энэ хугацаанд Компьютерийн микропроцессорын нэг үйлдэл гүйцэтгэнэ. К-мезоны амьдрах нас 12 нс. Бичил долгионы зуухны радиодолгионы хэлбэлзлийн үе 0.4 нс. “Мазаалай” хиймэл дагуулын илгээх дохионы үе 2.29 нс.

Пикосекунд (1 пс= 1/1 000 000 000 000 с) - гэрэл 0.3 мм зай туулна. Хамгийн хурдан транзистор пикосекундийн хугацаанд үйлдэл хийнэ. Ногоон ургамалд гэрэл шингэх, их энергийн хурдасгуурт эгэл бөөм үүсэх, тасалгааны температурт усны молекулын хооронд гидроген холбоо үргэлжлэх хугацааг пикосекундээр хэмждэг.

Фемтосекунд (1 фс=1/1 000 000 000 000 000 с) Импульсэн титан – сапфир лазер 10 фемтосекундийн хэт богино импульс цацаргаж чадна. Молекул дахь атом 10–100 фемтосекундийн хугацаанд 1 хэлбэлзэл хийнэ. Хамгийн хурдан химийн урвал хэдэн зуун фемтосекундийн хугацаанд явагдана. Нүдний торлог бүрхэвчтэй гэрэл харилцан үйлчлэх хугацаа 200 фемтосекунд.

Минут (1 мин = 60 с) – системийн бус нэгж. Нэг минутад дэлхий дээр 250 хүүхэд мэндэлж, 105 хүн нас эцэслэдэг. Шинээр төрсөн хүүхдийн тархи 2 мг хэмжээгээр нэмэгддэг. Ердийн хүн 150 үг хэлж, 250 үг уншина. 100 км/ц хурдтай машин 1.7 км зам явна. Нарны гэрэл 8 мин хугацаанд дэлхийд ирнэ. Хүний амьсгалаа түгжих дээд амжилт 5 минут байдаг.

Цаг (1 ц= 60 мин=3600 с) - системийн бус нэгж. Тоуота компани нэг цагт 580 машин үйлдвэрлэдэг. Гэрэл нарнаас хамгийн алсын гараг болох Дэлхий ван хүртэл 5 цаг 12 минут зарцуулдаг.

Хоног (1 хон=24 ц) - системийн бус нэгж. Дэлхий нартай харьцангуйгаар тэнхлэгээ нэг бүтэн тойрох хугацаа буюу нарны хоног 23 ц 56 мин 4.1 с хугацаанд үргэлжилдэг. Хүний уушги 11000 литр агаар сорно. Цэнхэр халимны тугал 90 кг–аар нэмэгддэг аж.

Сар-системийн бус нэгж. Дэлхийг тойрох сарны эргэлттэй холбоотой хугацааны нэгж. Билгийн сар-нартай харьцангуйгаар өмнөх байрлалдаа ирэх буюу нэг тэргэл сараас дараагийн тэргэл сар хүртэлх хугацаа. Энэ нь дунджаар 29.5306 хоног үргэжилнэ. Одтой харьцангуйгаар өмнөх байрлалдаа ирэх хугацааг од-сар гэнэ. Энэ нь 27.3217 хоног үргэлжилнэ.

Жил (1 жил=365,25 хоног)-системийн бус нэгж. Нарыг тойрох дэлхийн эргэлттэй холбоотой хугацааны нэгж. Аргын жил-хаврын тэнцлээс дараагийн хаврын тэнцэл хүртэлх хугацаа 365.242199 хоног=365 хоног 5 цаг 48 мин 46 сек. Од-жил -одтой харьцангуй жил буюу нар нэг одны харалдаа байрлалаас гарч дахин уг байрлалд эргэж ирэх хугацаа 365.256366 хоног. Дэлхий тэнхлэгээ нэг жилд бүтнээр эргэдэггүй учраас жилд 365 бүхэл хоног байдаг гэж үздэг. Юлийн жил-365.25 хоног= 365 хоног 6 цаг. Энд 4 жил тутамд нэг өндөр жил тооцдог. Үүнийг шинжлэх ухааны жил гэж нэрлэх нь бий. Энэ тоолол ёсоор 128 жил тутамд 1 хоногийн алдагдал гардаг. 1582 онд энэ зөрүүг засварлах үүднээс Римийн хамба лам Григорийн шийдвэрээр 400 жил тутамд зуугаар төгссөн 3 өндөр жилийг өндөр жилээс хасаж тооцохоор шийдвэрлэсэн. Григорийн жил-365.2425 хоног.

Нэг жилд дэлхийн дулаарлын улмаас далайн усны түвшин 1-2,5 мм-ээр, Монгол орны цаг агаарын температур 0.03°С-ээр нэмэгдэж байна. Нарны аймагт хамгийн ойрын од Proxima Centauri–аас цацарсан гэрэл 4.3 жил зарцуулдаг. Ийм хугацаанд далайн гадаргын урсгал дэлхийг бүтэн тойрдог. Сарос (Луугийн үе) 18 жил 11⅓ өдөр. Энэ хугацаанд сар ба нарны хиртэлт тодорхой дараалаар явагдаж эхэлдэг. Нэг саросын дотор 41 нарны хиртэлт (үүний 10 нь бүтэн), 29 сарны хиртэлт болдог байна.

Зуун ба мянган – дараалсан жилүүдийг тоолох системийн бус нэгж. Зуун жилд сар дэлхийгээс 3.8 метр зайд холдоно. Орчин үеийн компакт диск CD бүрэн эвдэрч гэмтэнэ.

Далайн яст мэлхий 177 жил амьдарна. Сүүлийн 100 жилийн хугацаанд дэлхийн дундаж температур 0.74°С–аар нэмэгдсэн. Шинжлэх ухааны эрчимтэй хөгжил эхлээд 100-200 жил өнгөрчээ. Адаг чуулганы одны ай (Андромедийн галактик) хүртэл гэрэл 2.3 сая жил туулна. Ураны цөмийн хагас задралын үе 4.5 тэрбум жил. Орчлонгийн нас 13.72±0,12 тэрбум жил, дэлхийн нас 4,57 тэрбум жил гэж үздэг.

Орчин үед туршлагаар ажиглаж буй хамгийн бага хугацаа 10^{-18} с болоод байна.

Асуулт Цаг тоолол ба цаг хугацааны нэгж хоёр ямар ялгаатай вэ?

Долоо хоног, хоног, цаг, минутыг тоолоход тоо тооллын ямар ямар систем ашигласан байна вэ?

Килограмм – массын нэгж

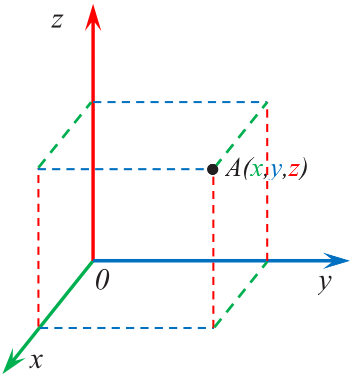
Зураг 4.

1795 онд Францад мөсний хайлах температурт байгаа 1 см куб цэвэр усны массыг 1 грамм хэмээн нэгж болгож авахаар тогтжээ. Гэтэл худалдаа наймаанд 1 граммаас олон дахин их массыг хэмжих шаардлага тулгарч байсан ба усаар хийсэн стандарт нь хадгалахад тохиромжгүй зэрэг нь түүнээс татгалзахад хүргэсэн. Үүнтэй холбогдуулан 1 граммаас мянга дахин их металл биетийг зөөврийн эталон болгожээ. 1799 онд ус 4°С температурт хамгийн их масстай байдаг нь тогтоогдсон. Ийнхүү 1 атм даралт, 4°С температурт оршин буй 1 дм куб усны массыг эталон болгон авсан ч цэвэр ус, температур, эзлэхүүнийг нарийн хэмжих, улмаар ууршилт явагдах зэрэг олон хүчин зүйл усыг эталон болгоход бэрхшээл учруулжээ.

1889 онд орчин үеийн килограммын эталоныг бүтээж одоо хүртэл хадгалж байдаг юм. Энэ нь 39.17 мм өндөр ба диаметртэй, цагаан алт –иридийн хайлш (90% цагаан алт, 10% иридий) юм. Килограмм бол СИ – ийн нэгжүүд дундаас цорын ганц “кило” угтвар бүхий үндсэн нэгж юм. Мөн бусад нэгжүүд түгээмэл тогтмолуудаар илэрхийлэгддэг бол ганцхан килограмм хүний хийсэн загвар эталоноор тодорхойлогддог. Уг килограммын эталон аажмаар (янз бүрийн шалтгаанаар зуун жилд массынхаа 3/100000000 хэсгийг алдсан) хорогдож байгаа учир олон улсын жин хэмжүүрийн албанаас түүнийг түгээмэл тогтмолоор илэрхийлэхийг хичээж эрэл хайлт хийж байгаа ажээ. Килограмм олон физик хэмжигдэхүүний нэгж болон Планкийн тогтмол зэрэг хэд хэдэн түгээмэл тогтмолыг илэрхийлдэг. Килограммын эталоныг хөдөлгөдөггүй, ашигладаггүй. Харин эталоны хувилбаруудыг улс орон бүрийн жин хэмжүүрийн албанд хадгалуулсан байдаг. 1889, 1948, 1989 ба 2014 онд массын хэмжилтийг ижил байлгах үүднээс эталоны хувилбаруудыг дахин нягталж шинэчилжээ. Электроны масс $9.11 \cdot 10^{-31}$ кг, протоны масс $1.672\ 6 \cdot 10^{-27}$ кг, ханиадны вирус $6 \cdot 10^{-19}$ кг, цусны улаан бөөм $1 \cdot 10^{-13}$ кг, ялааны далавч $5 \cdot 10^{-8}$ кг, Мазаалай хиймэл дагуулын масс 3 кг, уран-235 -ын критик масс 48 кг, суудлын вагон 54 тонн, халим 150 тонн байх ба Чингис хааны морьт хөшөөнд 250 тонн болд төмөр орсон, дэлхийн масс $5.97 \cdot 10^{24}$ кг, нарны масс $2 \cdot 10^{30}$ кг, манай галактикийн масс $2.2 \cdot 10^{42}$ кг, ертөнцийн масс $1.6 \cdot 10^{60}$ кг.

2. ХӨДӨЛГӨӨН

Хөдөлгөөнийг тодорхойлох координатын системүүд

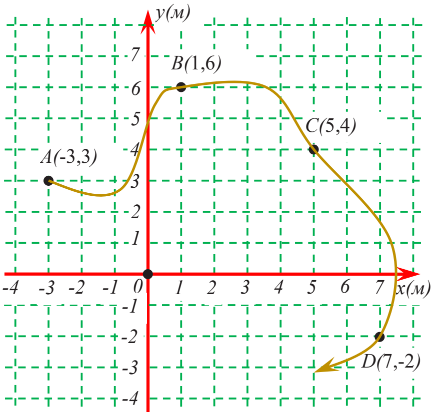


Зураг 5. Тэгш өнцөгт координатын систем

Зөгийн хөдөлгөөнийг ажиглая. Зөгий нэг цэцгэн дээр сууж удалгүй нисч өөр цэцэг рүү шилжин сууна. Өдөржин нисэх зөгийн траекторыг зурвал ихээхэн сонирхолтой зураг дүрслэл үүсэх ба энэ хөдөлгөөн нь гурван хэмжээст огторгуйд тодорхойлогдох нь ойлгомжтой юм. Үүний адил огторгуйд хөдлөх биеийн байрлал буюу координатыг гурван хэмжээст координатын системийг сонгон авч тодорхойлно (Зураг 5).

Жишээ: Ангид байгаа биеийн координатыг тодорхойлъё. Шалнаас дээш 1 м өндөрт, самбараас 2 м зайд, цонхтой хананаас 2.5 м зайд бие байрлана. Энэ жишээнд бие A(2, 2.5, 1) координаттай цэгт байна гэж тодорхойлсон бол энэ байрлалыг та нар анги дотроо олоод координатын эхийг хаана авсан болохыг хэлэлцэн тогтоогоорой.

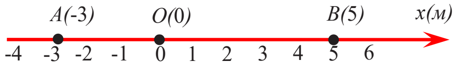
Ширээн дээр гулсан хөдлөх биеийн хөдөлгөөн, тэгш гадарга дээр гүйх шоргоолжны хөдөлгөөн, эсвэл хэвтээ чигт шидэгдсэн биеийн хөдөлгөөнийг авч үзье. Эдгээр бие бүгд л огторгуйд хөдөлж байгаа боловч хөдөлгөөний траектор нь ямар нэгэн хавтгайгаас гарахгүй зөвхөн нэг хавтгай дээрээ хөдөлж байна. Ийм хөдөлгөөнийг хоёр хэмжээст хөдөлгөөн гэнэ. Энэ тохиолдолд хөдөлгөөний тухайн хавтгай дээр биеийн байрлалыг тодорхойлох хоёр хэмжээст координатын систем сонгон авч судална.



Зураг 6.

Жишээ: Зураг 6-д автомат удирдлагатай роботын хөдөлгөөний траекторыг үзүүлэв. А цэг $x = -3$ м, $y = 3$ м координаттай, харин B цэг $x = 1$ м, $y = 6$ м координаттай байна. Эдгээр цэгийг A(-3, 3), B(1, 6) координаттай гэж товчлон бичнэ. C, D цэгүүдийн координатуудыг тодорхойлоорой.

Эгц дээш шидэгдсэн бие эсвэл чөлөөтэй унаж байгаа бие босоо шулууны дагуу хөдөлнө. Мөн налуу хавтгайгаар гулсаж байгаа бие, хурдсан хөдлөх галт тэрэг зэрэг нь хугацааны болон траекторынхоо тодорхой хэсэгт шулуун траектороор хөдөлнө. Ийм хөдөлгөөнийг нэг хэмжээст хөдөлгөөн гэнэ. Хөдөлгөөн хийгдэж буй шулуун дээр тэнхлэг сонгон авч нэг хэмжээст координатын систем үүсгэн цэгийн байрлал буюу координатыг тодорхойлно.



Зураг 7

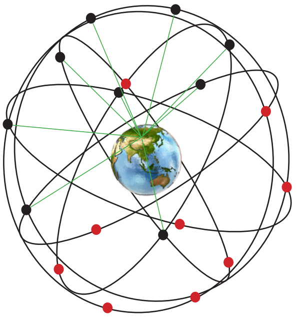
Зураг 7-д үзүүлсэн тэнхлэг дээр A цэг $x = -3$ м координаттай харин B цэг $x = 5$ м координаттай байна. Эдгээр цэгийг товчоор $A(-3)$, $B(5)$ гэж бичнэ.

Материал цэгийн хөдөлгөөн

Координатын системийн тусламжтайгаар байрлал тодорхойлох нэг систем нь GPS юм.

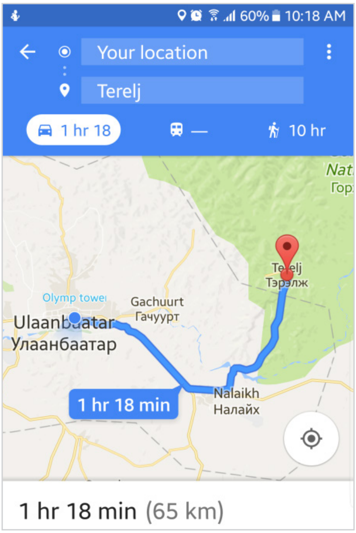
Орчин үеийн технологийн дэвшлээр хүн бүр GPS буюу дэлхий нийтийн байрлал тогтоох системийг ашиглах болсон билээ. Одоогоор олон нийтийн хэрэгцээнд АНУ-ын GPS ба ОХУ-ын Глонасс системүүдийн хиймэл дагуулуудыг амжилттай ашиглаж байна (Зураг 8). Эдгээр системүүд нь тус бүр 24 хиймэл дагуулуудыг дэлхийгээс 20000 км өндөрт тойрог замд байрлуулж (Зураг 9) байршлын дохиог хэрэглэгчийн байршил тогтоогчид тасралтгүй дамжуулж ажилладаг. Явган болон тээврийн хэрэгслээр аялахдаа GPS-ийн программыг гар утсан дээрээ татан авч ажиллуулснаар аяллын траекторыг гар утсан дээрээ харах боломжтой юм. GPS-ийн программ нь ойр байгаа гурваас дээш хиймэл дагуулаас цацагдаж байгаа хугацааны мэдээллийг хүлээн авснаар тухайн хиймэл дагуулууд хүртэлх зайг тодорхойлон таны байгаа байрлалыг тооцоолон тодорхойлж өгдөг байна. GPS-ийг ашиглан байрлал, траектор болон траекторын урт буюу замыг тодорхойлох (Зураг 10) ба авто замын сүлжээний мэдээллийг үүсгэх, газарзүйн нарийн зураглал (кадастрын зураг) хийхэд өргөн ашигладаг байна. Сүүлийн жилүүдэд GPS-ийн хэрэглээ Монголд хурдтай нэвтэрсэн. Монгол орны нөхцөлд малчид төөрөх тохиолдол их гардаг учир тэднийг аварч хамгаалахад GPS чухал хэрэгсэл юм.

Зураг 8.



Зураг 9.

Хэрэглэгч шинээр гар утас авахад утасны зааварт GPS эсвэл A-GPS гэсэн тэмдэглэгээтэй байвал өөртөө байршил тогтоох GPS-тэй утас байна. Гар утасны GPS нь үүрэн холбооны операторын сүлжээ хамаарахгүйгээр Монгол орны хаана ч ажиллана. Харин өндөр байшингуудын дунд GPS долгион муу баригдана. Утсандаа Application Market руу орж GPS-ийг ажиллуулдаг үнэгүй программуудыг татаж авснаар утасныхаа GPS-ийг ашиглах боломжтой болно.



Зураг 10.

> *Та нар GPS-ийг ашиглан өөрсдийн аялалын траекторыг гар утсан дээрээ гаргаж туршаарай. Мөн аялалынхаа хугацаа, замыг тодорхойлоорой.*

Механикт биеийг материал цэгээр төлөөлүүлэн судлах, хатуу биеийн нэг цэгийн хөдөлгөөнийг тодорхойлох асуудал олон тохиолддог.

Одоо материал цэгийн хөдөлгөөнийг тодорхойлох хэмжигдэхүүнүүдийг авч үзье. Материал цэгийн траекторыг Зураг 11-д үзүүлжээ.

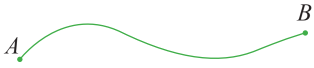
Материал цэг *A* цэгээс траекторын муруйн дагуу хөдлөн *B* цэгт хүрсэн бол түүний туулсан зам нь *A* цэгээс *B* цэг хүртэлх траекторын уртаар тодорхойлогдоно.

Зам нь траекторын уртыг тодорхойлох скаляр хэмжигдэхүүн юм. Замыг *S* үсгээр тэмдэглэнэ.

Бид гөлгөр зам, засмал зам, төмөр зам, салаа зам гэх мэт нэрлэж байгаа нь тухайн бодит зүйлсийн оноосон нэр юм. Энэ нь бидний зам хэмээн тодорхойлж буй хэмжигдэхүүний тухай яриа биш. Мөн траекторыг зам хэмээх хэмжигдэхүүнтэйгээ адилхан нэрлэж болохгүйг анхаараарай!

Материал цэгийн туулах замын хэмжээг хугацаанд харьцуулсан харьцаар **(шугаман) хурд** гэнэ.

$$\upsilon = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$



Зураг 11

Энд υ-шугаман хурд, Δt-хугацаа, ΔS-зам болно.

Хэрэв бүх замыг туулсан нийт хугацаанд нь хуваавал тухайн хугацаан дахь **дундаж хурд** гарна.

$$\upsilon_д = \frac{S_б}{t_б} = \frac{S_1 + S_2 + S_3}{t_1 + t_2 + t_3}$$

Энд $\upsilon_д$-дундаж хурд, t_1, t_2, t_3, ... хугацаануудад харгалзах туулсан замууд S_1, S_2, S_3, ...

Бид автобус болон тээврийн хэрэгслээр зорчихдоо жигд бус хөдөлгөөн хийж байгааг байнга мэдэрдэг. Хөдөлж эхлэх, гэрлэн дохио болон саад таарахад зогсох, дахин хөдлөх гэх мэт. Хөдөлгөөний явцад хурд нь ихсэж багасаж өөрчлөгдөж байна. Тэгэхээр бид хөдөлгөөнийг судалж буй хугацаанд дундаж хурдыг тодорхойлсноор тухайн замыг ижилхэн хугацаанд жигд хөдөлгөөнөөр туулах хурдыг олж байгаа юм.

Жишээ: Автобус хотоос гарч 40 км замыг 1 цагт туулж 30 минут зогсоод дахин 80 км замыг 1 цаг 30 минутад туулж нөгөө хотод хүрэв. Автобусны дундаж хурдыг ол.

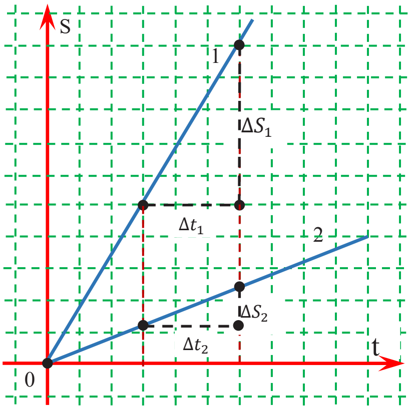
Бодолт Дундаж хурдыг бүх замыг бүх хугацаанд нь хувааж олно.

$$\upsilon_д = \frac{S_1 + S_2 + S_3}{t_1 + t_2 + t_3} = \frac{40 + 0 + 80}{1 + 0.5 + 1.5} = 40 \text{ км/ц}$$

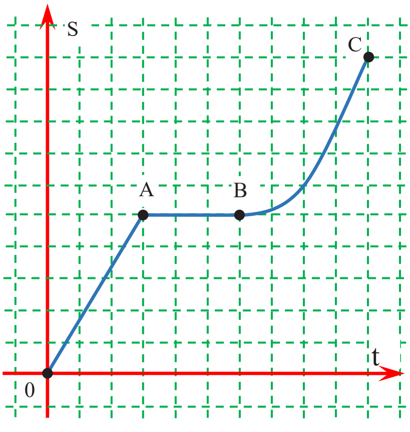
Зам - хугацааны хамаарал

Биеийн туулах зам нь хугацаанаас хамааран хувьсана. Тодруулбал зам нь хугацаанаас хамаарсан монотон өсөх функц байна.

Жигд хөдөлгөөн буюу тогтмол хурдтай хөдлөх материал цэгийн зам хугацааны хамаарлыг



Зураг 12.



Зураг 13.

авч үзье. Жигд хөдөлж байгаа үед биеийн дундаж хурд нь хөдөлгөөний аль ч хэсэгт ижилхэн байна. Энэ үед зам хугацааны хамаарлын функцийг дараах байдлаар бичиж болно.

$$S(t) = \upsilon \cdot t \quad \text{эсвэл} \quad S = \upsilon \cdot t$$

Энд $S(t)$ – t хугацаанд туулсан зам, υ – хурд.

Зураг 12-т дүрсэлсэн замын графикт 1 ба 2-р шулуунд харгалзах хурдууд $\upsilon_1 = \frac{\Delta S_1}{\Delta t_1}$ ба $\upsilon_2 = \frac{\Delta S_2}{\Delta t_2}$ болох учир $\Delta t_1 = \Delta t_2$ үед $\Delta S_1 > \Delta S_2$ байгаа тул $\upsilon_1 > \upsilon_2$ болно.

Иймд зам хугацааны хамаарлын график шулууны налалтын өнцөг их бол хурд ихтэй, харин бага бол хөдөлгөөний хурд бага байх юм байна.

Графикийн абсцисс тэнхлэгтэй үүсгэх өнцгийн тангенс нь хурдны тоон утгатай тэнцүү байна.

Жигд биш хөдөлгөөний зам хугацааны хамаарлын муруйн цэг бүрт шүргэгч шулуун татвал тухайн шулууны өнцгийн тангенс нь шугаман хурдыг тодорхойлно.

Зураг 13-д зам хугацааны хамаарлын жишээ үзүүлжээ.

Графикийн OA хэсэгт биеийн туулах зам нь жигд өсөж байна. Энэ үед бие тогтмол хурдтай хөдөлнө.

AB хэсэгт зам өсөхгүй байгаа учир бие зогсож байна.

BC хэсэгт зам нь өсөж байгаа ба шүргэгч шулууны налалтын өнцөг ихсэж байгаа тул хурдсах хөдөлгөөн хийж байна. Энэ хэсэгт B цэгээс эхлээд хурд нь аажуухан өсөөд C рүү дөхөхөд зам хугацааны хамаарал шулуун болж хурд нь тогтмол болж байна.

Дасгал. Дэвтэр дээр гүйж байгаа цохны хөдөлгөөний координат ба хугацааг дараах хүснэгтэд тодорхойлжээ.

t, с	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
x, см	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10
y, см	0.0	1.4	2.8	3.9	4.9	5.5	5.9	5.9	5.8	5.4	5.0	4.6	4.2	4.1	4.1	4.5	5.1	6.1	7.2	8.6	10

Траекторыг Зураг 14-т үзүүлжээ.

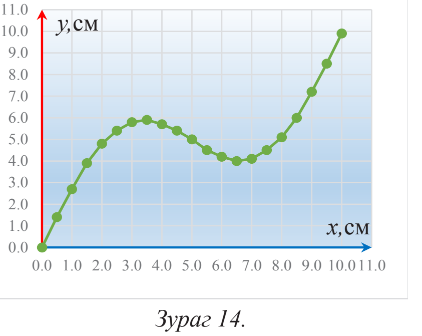
Цохны хөдөлгөөний хүснэгт болон треакторын муруйг шинжлээд дараах асуултуудад хариулна уу.

а. Ямар хөдөлгөөн хийж байна вэ?

б. Хугацааны ямар агшинд хамгийн удаан хөдөлж байна вэ?

в. Хөдөлгөөний эхний 10 с ба 20 с хугацаанд хийсэн шилжилтийн хэмжээг олоорой.

г) *x* координат хугацаанаас хэрхэн хамаарч байна вэ? График байгуулан шинжлээрэй.



Зураг 14.

д) y координат хугацаанаас хэрхэн хамаарч байна вэ? Хугацааны ямар мужид буцах хөдөлгөөн хийж байна вэ? График байгуулан шинжлээрэй.
е) Траекторыг миллиметрийн шугамтай цаасан дээр хүснэгтийн өгөгдлөөр 1:1 масштабтай зурж дүрслээрэй.
ё) 20 с хугацаанд цохны явсан замыг траекторын дагуу хэмжээрэй.
ж) 20 с хугацаанд цохны дундаж хурд ямар байсан бэ?

Вектор хэмжигдэхүүн

Хүрээлэн буй ертөнцийг танин мэдэхийн тулд физикийн шинжлэх ухааныг хөгжүүлж иржээ. Үүний тулд хамгийн түрүүнд физик хэмжигдэхүүнүүдийг тодорхойлж тэдгээрийн харилцан хамаарлыг судалдаг. Бидний мэдэх олон физик хэмжигдэхүүнүүдийг вектор ба скаляр гэж хоёр ангилна. Одоо **скаляр** хэмжигдэхүүнүүдийн жишээг авч үзье. Масс (m), хугацаа (t), температур (T), нягт (ρ), эзлэхүүн (V) гэсэн хэмжигдэхүүнүүдийг зөвхөн хэмжээгээр тодорхойлдог учир скаляр хэмжигдэхүүн болно. Скаляр хэмжигдэхүүнд ямар нэгэн чиглэл харгалзахгүй учир тухайн хэмжигдэхүүнүүдийг арифметик үйлдлээр нэмж хасна.

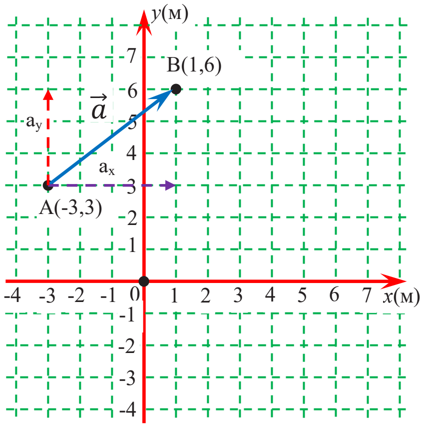
Жишээ: 5 кг төмсний дээр 3 кг сонгино нэмбэл ногооны нийт масс 8 кг болно. Скаляр хэмжигдэхүүнүүдийг нэмж хасахдаа ижилхэн нэгжтэй байх ёстойг анхаарах хэрэгтэй. Зарим физик хэмжигдэхүүний хувьд чиглэлийг нэмж тодорхойлох шаардлага тулгардаг байна. Ийм чиглэлтэй хэмжигдэхүүнийг **вектор** хэмжигдэхүүн гэнэ.

Шилжилт ($\Delta\vec{r}$), хурд ($\vec{\upsilon}$), хурдатгал ($\vec{a}$), хүч ($\vec{F}$) гэх мэт олон хэмжигдэхүүнүүдэд тоон хэмжээнээс гадна чиглэлийг оруулж болдог. Вектор хэмжигдэхүүнийг дээр нь сумтай бичдэг. Жишээ нь бие баруун зүгт 2 м шилжив, биед эгц доош 10 Н дэлхийн татах хүч үйлчилнэ, биеийг хэвтээ чиглэлээс дээш 30° өнцөг үүсгэн $20\frac{\text{м}}{\text{с}}$ хурдтай шидэв гэсэн өгүүлбэрүүдэд шилжилт, хүч, хурдны хэмжээ болон чиглэлийг тодорхойлон хэлсэн байна.

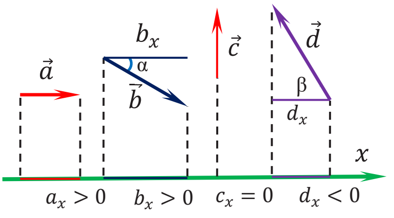
Вектор хэмжигдэхүүнүүдийг чиглэлтэй хэрчмээр зурагт дүрсэлнэ (Зураг 15). $\vec{a}$ векторыг $\overrightarrow{AB}$ гэж тэмдэглэж болно.

Векторыг тодорхойлох хэлбэрүүд:
a) Хэмжээ болон чиглэлийг тодорхойлох
b) Эхлэл ба төгсгөлийн цэгийг тодорхойлох
c) Байгуулагчдаар нь тодорхойлох

Зураг 15-д үзүүлсэн $\vec{a}$ векторыг тодорхойлбол
а. $\vec{a}$ векторын хэмжээ нь a=5 м ба чиглэл нь x тэнхлэгтэй $\alpha = 48.6^\circ$ өнцөг үүсгэж байна.
б. $\vec{a} = \overrightarrow{AB}$ нь A(–3,3)-аас B(1,6) цэг хүртэл татсан вектор байна.
в. $\vec{a}$ вектор нь $\vec{a}(1-(-3), 6-3) = \vec{a}(4,3)$ учир x тэнхлэгийн дагуу 4 м, y тэнхлэгийн дагуу 3 м байгуулагчтай байна. Үүнийг $\vec{a}(a_x, a_y) = \vec{a}(4,3)$ гэж тэмдэглэнэ. Энд a_x, a_y-ийг a векторын x ба y тэнхлэг дээрх проекцууд буюу байгуулагчид гэнэ.



Зураг 15.



Зураг 16.

Векторын проекц

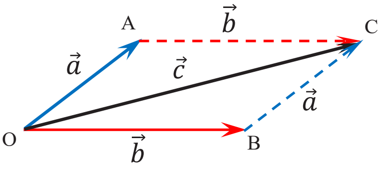
Векторыг дурын тэнхлэг сонгон проекцолж болно. Зураг 16-д $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$, $\vec{d}$ векторуудыг x тэнхлэг дээр проекцолсныг үзүүлжээ.

Векторын проекц нь тухайн тэнхлэг дээрх сүүдэр хэрчмийн уртаар хэмжигдэх ба тэмдэг нь проекцийн чиглэл тэнхлэгийн дагуу бол эерэг, эсрэг бол сөрөг байна.

Проекцийг өнцөг ашиглан илэрхийлбэл

$$b_x = b\cos\alpha \qquad d_x = -d\cos\beta$$

Векторыг нэмэх



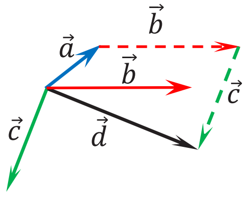
Зураг 17.

$\vec{a}$ ба $\vec{b}$ векторын нийлбэрийг $\vec{c}$ гэе (Зураг 17).

$\vec{a} + \vec{b} = \vec{c}$

$\vec{a} + \vec{b} = \overrightarrow{OA} + \overrightarrow{AC} = \overrightarrow{OC} = \vec{c}$ болно. Зураг 17-д үзүүлсэн векторыг нэмэх аргыг параллелограммын дүрэм гэнэ.

Вектор нь хэмжээ ба чиглэлээр тодорхойлогдох учир хэмжээ ба чиглэлээрээ ижилхэн векторууд нь тэнцүү векторууд байна. Зураг 17-д $\vec{b} = \overrightarrow{OB} = \overrightarrow{AC}$ болно. $\vec{a}$ ба $\vec{b}$ векторуудыг шилжилтийн векторууд гэж үзвэл $\vec{a} + \vec{b}$ гэдэг нь бие O цэгээс A цэг рүү шилжээд A цэгээс C цэг рүү шилжүүлснийг илэрхийлнэ. Иймд нийлбэрийн дүнд бие O цэгээс C цэг рүү шилжиж байгаа учир эцсийн үр дүн буюу нийлбэр нь $\vec{c} = \overrightarrow{OC}$ болж байна.



Зураг 18.

Векторуудыг нэмэх үйлдлийг олон шилжилтүүдийн нийлбэр үр дүнтэй адилтган ойлгож болно. Өөрөөр хэлбэл векторуудыг параллелиар зөөж, эхлэл төгсгөлүүдийг холбох замаар нийлбэр векторыг байгуулна (Зураг 18).

$$\vec{d} = \vec{a} + \vec{b} + \vec{c}$$

Векторыг хасах

Зураг 17-д үзүүлсэн $\vec{c}$ вектороос $\vec{a}$ векторыг хасъя. $\overrightarrow{OC}$ шилжилтээс $\overrightarrow{OA}$ шилжилтийг хасахаар $\overrightarrow{AC}$ шилжилт үлдэж байна. Иймд $\vec{c} - \vec{a} = \vec{b}$ болно.

Вектор хэмжигдэхүүнүүдийг ашиглан бичсэн вектор тэгшитгэлүүдийг бодож тооцоолох шаардлага олон гардаг. Энэ үед вектор илэрхийлэл болон тэгшитгэлийг тэнхлэгүүд сонгон авч проекцлон тооцоолно. Вектор тэгшитгэлийг тэгш өнцөгт координатын системд x, y, z тэнхлэгүүд дээр проекцлон гурван тэгшитгэл болгон задална.

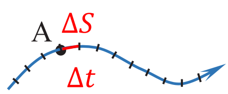
Дасгал

1. 3 м ба 4 м хэмжээтэй хоёр шилжилт байв. Нийлбэр шилжилтийн хэмжээ нь (a) 7 м, (b) 1 м, (c) 5 м байхын тулд шилжилтүүд хэрхэн нэмэгдсэнийг зурж харуулаарай.
2. $\vec{A}$ векторын байгуулагчид $A_x = -12.0$ м, $A_y = +5.0$ м хэмжээтэй байв. *(a)* векторын хэмжээг олно уу? *(b)* $\vec{A}$ векторын x тэнхлэгийн эерэг чиглэлтэй үүсгэх өнцгийг олно уу?
3. xy хавтгай дахь $\vec{s}$ шилжилтийн векторын хэмжээ 40 м бөгөөд x-ийн эерэг чиглэлтэй 30° өнцөг үүсгэнэ. Түүний x ба y байгуулагчдыг ол. s_y нь эсрэг утгатай.

4. $\vec{A}$ векторын байгуулагчид $A_x = 4$, $A_y = -3$ ба $\vec{B}$ векторын байгуулагчид $B_x = -2$, $B_y = 2$ бол дараах векторуудын байгуулагчдыг ол.
   a. $\vec{A} + \vec{B}$, b. $\vec{A} - \vec{B}$, c. $2\vec{A}$, d. $\vec{A} + 3\vec{B}$
5. Завьтай хүн 6 км/ц хурдтай урсаж байгаа голын эрэгт перпендикуляраар эгц хөндлөн гаталж гарах хэрэгтэй болжээ. Завьтай хүн устай харьцангуй 10 км/ц хурдтай хөдлөх бол голын эрэгтэй харьцуулахад ямар хурдтай хөдлөх вэ? Голын устай харьцуулахад завины хөдөлгөөн ямар чиглэлтэй байх вэ?

Хурд ба хурдатгал

Эгшин зуурын хурд. Савлуураар тоглож байгаа хүүхдийн хөдөлгөөнийг ажиглая. Хүүхдийн хурд ихсээд эргэж багасаад дахин ихсээд байгааг харахад илт юм. Хүүхдийн хурдны хэмжээ нь хэд вэ? Энэ асуултад бид хариулж чадах уу? Хариулж чадахгүй. Учир нь хурд нь ихсэж багасаад байна шүү дээ. Савлаж байгаа хүүхэд яг хаана байрлаж байгаагаас хамаарч хурд нь тодорхойлогдох юм байна.



Зураг 19.

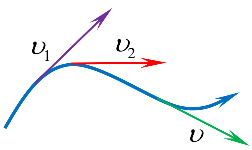
Үүний адил хурдны хэмжээ өөрчлөгдөж буй хөдөлгөөнийг **хувьсах хөдөлгөөн** гэнэ.
Хувьсах хөдөлгөөний үед траекторын цэг бүр дээрх хурдыг тодорхойлох шаардлага гардаг. Ийм учраас хувьсах хөдөлгөөний үед траекторыг олон жижиг хэсгүүдэд хувааж (зураг 19) хэсэг бүрт харгалзах дундаж хурдыг дараах томьёогоор тодорхойлъё.

$$\upsilon_{д} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

Цаашилбал A цэгээс ΔS замыг Δt хугацаанд туулсан гэвэл A цэгийн орчим буюу A цэг дээрх хурд нь

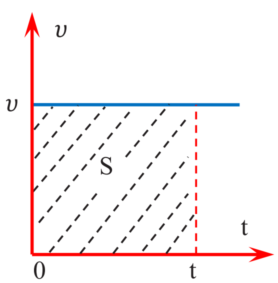
$$\upsilon_A = \frac{dS}{dt}$$

болно. Энэхүү хурдыг эгшин зуурын хурд гэнэ.



Зураг 20.

Дээрх томьёонд Δt хугацаа тэг рүү тэмүүлэн өчүүхэн бага болоход хугацааг dt, түүнд харгалзах өчүүхэн бага замыг dS гэж тэмдэглэжээ. Хурдны вектор ямагт траекторын шүргэгчээр чиглэнэ (Зураг 20).
$\upsilon = const$ буюу хурдны хэмжээ нь тогтмол хөдөлгөөнийг жигд хөдөлгөөн гэнэ. Жишээ нь тойргоор жигд эргэх, шулуун ба муруй траектороор тогтмол хурдтай хөдлөх гэх мэт.
Шулуунаар жигд хөдлөх үед хурдны вектор тогтмол $\vec{\upsilon} = const$ байна.

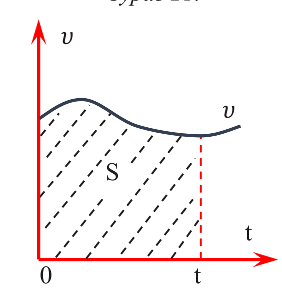


Зураг 21.

Жигд хөдөлгөөний үед эгшин зуурын хурдны хэмжээ траекторын цэг бүрт адилхан байх учир эгшин зуурын хурд дундаж хурдтай тэнцүү байна.

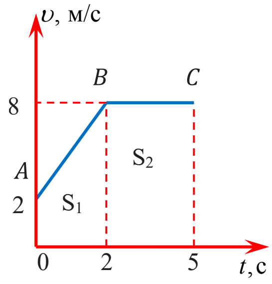
$$\upsilon = \frac{dS}{dt} = \frac{S}{t}$$

Жигд хөдөлгөөний үед хурд хугацааны хамаарлын графикт (зураг 21) хурдны шулуунаар хашигдсан тэгш өнцөгтийн талбай $s = \upsilon \cdot t$ учир замтай тэнцүү байна.



Зураг 22.

Хурд хугацаанаас хамааран хувьсаж байвал (зураг 22) зам нь хурд хугацааны хамаарлын графикаас хурдны графикаар хашигдсан муруй шугаман трапецийн талбайгаар тодорхойлогдоно.



Зураг 23

Жишээ: Зураг 19–т биеийн хурд хугацааны хамаарлыг үзүүлжээ.

а. Эхний хоёр секундийн хугацаанд туулсан замыг ол.

б. Эхний 5 с-ийн хугацаан дахь дундаж хурдыг ол.

Бодолт

а. Зургаас харахад эхний 2 с-ийн хугацаанд хурд AB шулуунаар дүрслэгдэх учир 0AB2 трапецийн талбайг олбол зам нь

$$S_1 = \frac{2+8}{2}\cdot 2 = 10 \text{ м}$$

б. 2 с-ээс 5 с хугацаанд хурд тогтмол учир энэ хугацаанд туулсан замыг тэгш өнцөгтийн талбайгаар олбол

$$S_2 = 8 \cdot (5-2) = 24 \text{ м}$$

Дундаж хурд нь $\langle \upsilon \rangle = \frac{S_1 + S_2}{t} = \frac{10+24}{5} = 6.8$ м/с

Хурдатгал

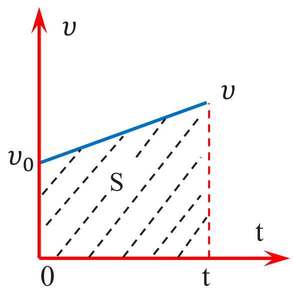
Жигд бус хөдөлгөөний хувьд хурд өөрчлөгдөн хувьсдаг. Хурдны өөрчлөлтийн хурд буюу хурдатгалыг траекторын цэг бүрт нэгж хугацаан дахь хурдны өөрчлөлтөөр тодорхойлдог.

Хурдны хэмжээ нь жигд өөрчлөгдөх хөдөлгөөнийг **жигд хувьсах хөдөлгөөн** гэнэ.

Хурдсан хөдлөх галт тэрэг, автомашин тоормозлон удаашрах, уулын уруу гулсах, унаж буй бие зэрэг олон хөдөлгөөний зарим хэсгийг жигд хувьсах хөдөлгөөн гэж үзэж болдог.

Жигд хувьсах хөдөлгөөний үед хурдатгал нь

$$a = \frac{\upsilon - \upsilon_0}{t}$$



Зураг 24.

болно. Энд υ_0 – анхны хурд, υ – эцсийн хурд.

$$\upsilon = \upsilon_0 + at$$

Хурд хугацаанаас шугаман хамаарч байна. Хурд - хугацааны хамаарлын графикаас (Зураг 24) замыг олбол

$$S = \frac{\upsilon_0 + \upsilon}{2}\cdot t = \frac{2\upsilon_0 + at}{2}\cdot t$$

Эндээс жигд хувьсах хөдөлгөөний зам

$$S = \upsilon_0 t + \frac{at^2}{2}$$

Удаашрах хөдөлгөөний хувьд хурд, хурдатгалын эсрэг чиглэх учир $a < 0$ сөрөг утгатай болно.

Замыг эхний ба эцсийн хурдаар илэрхийлбэл

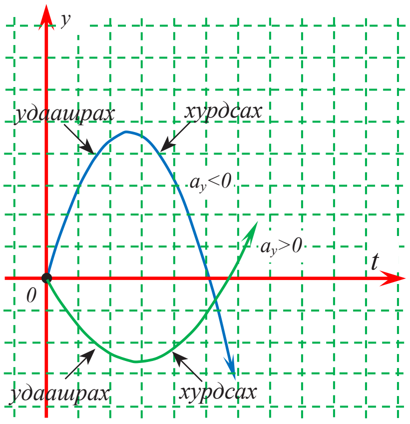
$$S = \frac{\upsilon^2 - \upsilon_0^2}{2a}$$

Эндээс хурдатгалыг олбол

$$a = \frac{\upsilon^2 - \upsilon_0^2}{2S}$$

Энэ томьёогоор анхны ба эцсийн хурд болон замын утгаар хурдатгалыг тодорхойлж байна.

Хурдатгалын чиглэл анхны хурдтай **коллинеар** (ижилхэн эсвэл эсрэг чиглэлтэй) бол шулуун



Зураг 25.

траекtороор хөдөлнө. Энэ үед шулууны дагуу хөдлөх учир хөдөлгөөний тэгшитгэл буюу координат нь

$$y = y_o + \upsilon_{oy} t + \frac{a_y t^2}{2}$$

болно. Анхны байрлал дээр координатын эхийг авч анхны хурдны дагуу тэнхлэгээ чиглүүлэн авбал

$$y = \upsilon_o t + \frac{at^2}{2}$$

Энд хурдсах буюу хурдатгал анхны хурдны дагуу үед хурдатгалын проекц $a_y = a$ харин хурдатгал y тэнхлэгийн эсрэг чиглэх үед $a_y = -a$ байна (Зураг 25).

Тогтмол хурдатгалтай хөдөлгөөнүүдээс шулуунаар хөдлөх хөдөлгөөний жишээг гарган хэлэлцээд ямар үед шулуун хөдөлгөөн биш болох шалтгааныг тайлбарлаарай.

Чөлөөт уналт ба эгц дээш шидэгдсэн биеийн хөдөлгөөн

Агаарын эсэргүүцэл бага үед бие унахдаа дэлхийн хүндийн хүчний улмаас тогтмол хурдатгалтай унадаг. Үүнийг биеийн чөлөөт уналт гэх бөгөөд энэ хуулийг 1600 он хүртэл хүлээн зөвшөөрдөггүй байжээ. Үүнээс өмнө философич Аристотель (МЭӨ 384 – 322) хүнд бие хурдан, хөнгөн бие удаан унадаг гэж үздэг байв.

Биеийн чөлөөт уналтын тухай өнөөгийн үзэл баримтлалыг анх Италийн эрдэмтэн Галилео Галилей (1564 – 1642) үндэслэжээ. Тэрээр хоёр өөр масстай ширмэн бөмбөрцгийг Пизагийн цамхагийн оройгоос унагахад бараг нэгэн зэрэг газардсан хэмээх домог яриа байдаг.

Туршилт. Баллуур болон самбарын шохойг ижил өндрөөс нэгэн зэрэг унагаа. Агаарын эсэргүүцэл бага тул тэдгээр нь нэгэн зэрэг газарт унах бөгөөд энэ хөдөлгөөнийг чөлөөт уналт гэж нэрлэдэг. Уг туршилтыг цаас баллуурын хувьд хийвэл агаарын эсэргүүцлээс болж цаас нь хоцорч унах боловч вакуумд туршвал эдгээр нь нэгэн зэрэг унана.

1971 оны 8–р сарын 2–нд Дэвид Скотт саран дээр алх болон өдийг нэгэн зэрэг унагаан туршихад тэдгээр нь газарт зэрэг унасан байна (саран дээр агаар буюу хийн мандал байхгүй).

Чөлөөтэй шидэгдсэн биеийн анхны хурд нь ямар байснаас үл хамааран хүндийн хүчний орны нөлөөгөөр чөлөөт уналт хийж байна гэж үзэж болно. Биеийг дээш болон доош шидсэн аль ч тохиолдолд эгц доош чиглэсэн чөлөөт уналтын хурдатгалтай хөдөлнө. Эгц дээш шидэгдсэн биеийн хөдөлгөөн мөн жигд хувьсах хөдөлгөөн юм. Дээш шидэгдсэн биеийн хурд секунд бүрд 9.8 м/с хэмжээгээр хорогдсоор тэг болоход бие хөөрөлтийн хамгийн өндөр цэгтээ хүрэх ба эндээс доош унана. Унахдаа хурд нь секунд тутамд 9.8 м/с хэмжээгээр нэмэгдэнэ. Дэлхийн гадаргаас дээш g–ийн утга өндрөөс хамаарч буурна. Дэлхийн гадарга орчинд g хурдатгалын утга ойролцоогоор 9.8 м/с^2 байх боловч ойролцоо тооцоололд 10 м/с^2 гэж авч болно.

Жишээ: ***Эгц дээш шидэгдсэн бөмбөг***

Эгц дээш 20 м/с анхны хурдтай шидэгдсэн бөмбөгийн хурдыг хугацаанаас хамааруулан ол.

Бодолт Дээш чиглэсэн тэнхлэг авъя. Бөмбөг эгц дээш эсвэл доош шидэгдсэн зэргээс үл хамааран түүний хурд секунд тутамд 10 м/с хэмжээгээр өөрчлөгдөнө.

$$\upsilon = \upsilon_0 - gt = 20 - 10 \cdot t$$

Бөмбөг эгц дээш шидэгдсэн ба хурдатгал нь эгц доош чиглэх тул 1 секундийн дараа хурд

10 м/с болно. Дараагийн 1 секундэд бөмбөгийн хурд тэг болтол буурна. Энэ үед бөмбөг хамгийн их хөөрөх өндөртөө хүрнэ. Дахиад нэг секундийн дараа бөмбөг –10 м/с хурдтай болно (Сөрөг тэмдэг нь бөмбөг тэнхлэгийн эсрэг чиглэлд буюу доош хөдөлж буйг илтгэнэ). Дараагийн 1 секундэд шидсэн цэгтээ эргэж ирэх ба түүний хурд –20 м/с болсон байна.

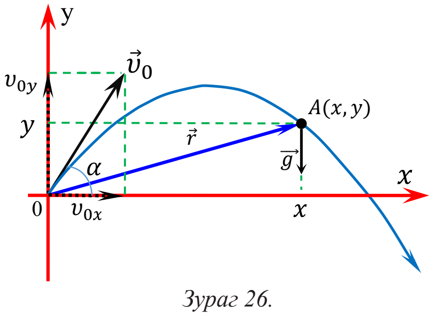
Дасгал

1. Эгц дээш харвасан сумны анхны хурд $\upsilon_o = 40$ м/с байсан бол түүний хөөрөх өндөр ба хугацааг ол. Хөдөлгөөн эхэлснээс хойш $t = 6$ с хугацаанд сумны явах зам ба дундаж хурдыг ол.
2. Жигд хурдсан хөдөлж байгаа бие эхний 4 секундэд 24 см зам, дараагийн 6 секундэд 72 см зам явав. Биеийн хурдатгал ба анхны хурдыг ол.
3. Анх $\upsilon_o = 5$ м/с хурдтай байсан машин жигд хурдсан $\upsilon = 13$ м/с хурдтай болжээ. Энэ үед машины явсан замын эхний хагас дахь дундаж хурдыг ол.
4. Тайван байсан бие жигд хурдсан хөдөлснөөс хойш 6 секундэд $S = 40$ м зам туулсан бол 15 секундэд биеийн явсан замыг тодорхойл.

Хөдөлгөөнийг задлах

Аливаа хөдөлгөөнийг перпендикуляр тэнхлэгүүдийн дагуух хөдөлгөөнүүдийн нийлбэр мэтээр задлан тооцоолох боломжтой. Үүнийг хүндийн хүчний оронд хөдлөх биеийн хөдөлгөөний хувьд жишээ болгон авч үзье.

Агаарын эсэргүүцлийг тооцвол яагаад тогтмол хурдатгалтай хөдөлгөөн биш болох, ямар хөдөлгөөн хийх тухай таамаглал дэвшүүлэн хэлэлцээрэй.



Зураг 26.

Хүндийн хүчний оронд чөлөөтэй шидэгдсэн биеийн хөдөлгөөн нь тогтмол хурдатгалтай хөдөлгөөн юм. Энэ нь дэлхийн гадарга орчимд агаарын эсэргүүцлийг бага гэж үзэх нөхцөлд биелнэ.

Хэвтээ чиглэлээс дээш α өнцөг үүсгэн υ_0 хурдтай шидсэн биеийн хөдөлгөөнийг авч үзье. Зураг 26-д үзүүлснээр координатын эхлэл дээрээс биеийг шидэгдсэн гээд эгц дээш y тэнхлэгийг, хэвтээ чигт x тэнхлэгийг тус тус сонгон траекторыг дүрсэлжээ.

x тэнхлэгийн дагуух буюу биеийн хэвтээ чиглэлийн хөдөлгөөнийг авч үзье.

Хэвтээ чигт $\upsilon_x = \upsilon_{ox}$ тогтмол хурдтай жигд хөдөлгөөн хийж байна. Координат нь хугацаанаас шугаман хамаарна.

$$x = \upsilon_{ox} t$$

Харин босоо чиглэлд жигд хувьсах хөдөлгөөн хийнэ. Координат нь хугацаанаас параболоор хамаарна.

$$y = \upsilon_{oy} t - \frac{gt^2}{2}$$

Хурд нь

$$\upsilon_y = \upsilon_{oy} - gt \quad \text{болно.}$$

Энд $x_0 = 0$, $y_0 = 0$, $g_x = 0$, $g_y = -g$ учир

$$\begin{cases} x = \upsilon_{0x} t \\ y = \upsilon_{0y} t - \dfrac{gt^2}{2} \end{cases}$$

Энд υ_{0x} ба υ_{0y} нь анхны хурдны байгуулагчид юм.

$$\begin{cases} \upsilon_{0x} = \upsilon_0 \cos\alpha \\ \upsilon_{0y} = \upsilon_0 \sin\alpha \end{cases}$$

x ба *y* тэнхлэг дээр проекцолж байгаа нь хөдөлгөөнийг хоёр хөдөлгөөн болгон задалж байгаа хэрэг юм.

Бие хамгийн өндөрт хөөрөхөд $\upsilon_y = 0$ болох учир парабол траекторын оройд хүрэх хугацаа t_o нь

$$t_o = \frac{\upsilon_{oy}}{g} = \frac{\upsilon_o}{g}\sin\alpha$$

$$\text{Хөөрөх өндөр } h = \frac{gt_o^2}{2}$$

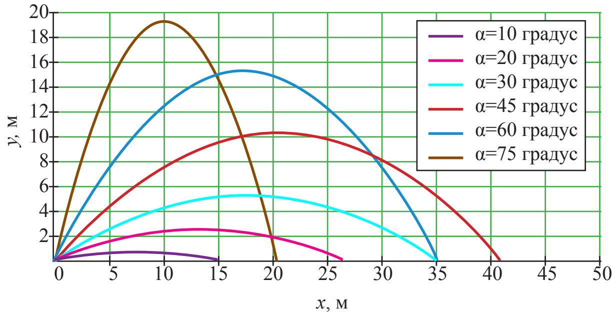
Хөөрөх өндрийг дээш шидсэн анхны хурдаар илэрхийлбэл

$$h = \frac{\upsilon_{oy}^2}{2g} = \frac{\upsilon_o^2 \sin^2\alpha}{2g}$$

Босоо чигийн хөдөлгөөн нь эгц дээш шидэгдсэн биеийн хөдөлгөөн бөгөөд дээш хөөрөх хөдөлгөөн эргэж унах хөдөлгөөнтэйгөө тэгш хэмтэй байна. Иймээс хөөрөх хугацаа уналтын хугацаатай адилхан учир нисэлтийн хугацаа

$$t_{нис} = 2t_o = \frac{2\upsilon_{oy}}{g} = \frac{2\upsilon_o}{g}\sin\alpha$$

$$\text{Биеийн унах зай } \quad l = \upsilon_{ox} t_{нис} = \frac{2\upsilon_o^2 \sin\alpha\cos\alpha}{g} = \frac{\upsilon_o^2 \sin 2\alpha}{g}$$



Зураг 27.

Зураг 27-д анхны ижилхэн хурдтайгаар янз бүрийн өнцгөөр шидэгдсэн биеийн траекторыг үзүүлжээ. Зургаас харахад 45° өнцгөөр шидэгдсэн бие хамгийн хол унаж байна.

Уртын харайлтын тамирчин хамгийн хол харайхын тулд хэвтээ чигтэй ямар өнцөг үүсгэн үсрэх хэрэгтэй вэ?

Дасгал

1. Хэвтээ чиглэлээс дээш α = 60° өнцгөөр чулуу шидэв. t = 4 с-ийн дараа хурдны босоо байгуулагч нь $\upsilon_y = 10$ м/с болсон бол тусгалын зайг ол.
2. Хүүхэд газраас 20 м өндөрт тагтан дээрээс хэвтээ чигээс доош 30° өнцгөөр бөмбөгийг 10 м/с хурдтай шидэв. Бөмбөг ямар хугацааны дараа байшингаас хэр хол унах вэ?
3. Хананаас l = 15 м зайд байгаа хүүхэд бөмбөгийг $\upsilon_o = 20$ м/с хурдтайгаар хэвтээ чигээс дээш α = 60° өнцгөөр ханаы зүг шиджээ. Бөмбөг хананаас абсолют уян харимхай ойсон бол хүүхэд ойсон бөмбөгийг барихын тулд хананаас ямар зайд очиж зогсох вэ?
4. 45° налуутай уулын оройгоос хэвтээ чигт $\upsilon_o = 15$ м/с хурдтай шидсэн чулуу түүний оройгоос ямар зайд, ямар хугацааны дараа унах вэ? Унах үеийн хурдыг ол.

3. ХҮЧ БА ХӨДӨЛГӨӨН

Хүч

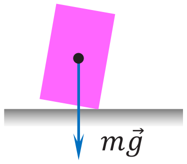
Бие хөдөлгөөнд орох эсвэл хөдөлгөөн саатах нь түүнд гаднаас харилцан үйлчилсний үр дүн байдаг.

Биесийн харилцан үйлчлэлийн хэмжээг илэрхийлэх хэмжигдэхүүнийг **хүч** гэнэ. Харилцан үйлчлэх хүчний хэмжээ их эсвэл бага байгааг олон жишээгээр бид харьцуулж чадна. Жишээ нь сагсан бөмбөг өргөхөөс тоосго өргөх нь хүнд, нум сум харвахад хөвчийг татах тусам их хүч шаарддаг.

Механик хүчнүүд

Хүндийн хүч нь бие дэлхийд татагдах хүч юм.

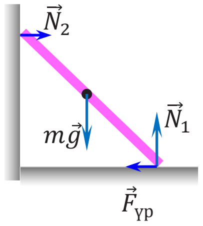
$$\vec{P} = m\vec{g}$$



Зураг 28.

Хүндийн хүчний нөлөөгөөр биеийн бүх хэсэгт дэлхийн татах хүч үйлчилнэ. Эдгээр хүчийг нэг цэгт үйлчилж байгаа мэтээр дүрсэлж болдог (Зураг 28). Уг цэгийг хүндийн төв гэнэ.

Реакцийн хүч нь аливаа бие гадаргад тулахад гадаргын зүгээс буцааж үйлчлэх хүчний перпендикуляр байгуулагч юм (Зураг 29). Зурагт хана ба шалнаас үйлчлэх реакцийн хүчнүүдийг $\vec{N}_1$, $\vec{N}_2$-оор дүрсэлжээ.



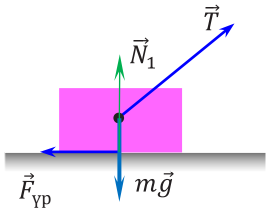
Зураг 29.

Татах ба түлхэх хүч нь биетүүд бие биетэйгээ холбогдсоны улмаас үүснэ (Зураг 30).

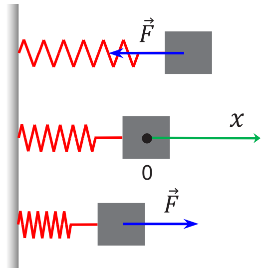
Үрэлтийн хүч нь биеүд шүргэлцэх үед бие биетэйгээ харьцангуй шилжих хөдөлгөөнийг саатуулах чиглэлд үүсдэг (Зураг 29, 30). Үрэлтийн хүч нь тайвны ба гулсах гэсэн хэлбэртэй байна.

Харимхай хүч нь биед гаднаас үйлчилж хэлбэр хэмжээг өөрчлөхөд биеэс эсрэг чиглэлд үйлчлэх хүч юм. Үүнийг бас деформацын хүч гэнэ. Деформацын хэмжээ бага үед хүчний хэмжээ нь деформацын хэмжээтэйгээ пропорционал байдаг (Зураг 31).

$$F_x = -kx$$



Зураг 30.



Зураг 31.

Энд x – деформацын хэмжээ, k – хат.
Харимхайн хүч нь деформацын шилжилтийн эсрэг чиглэх учир томьёонд хүчний проекцийн тэмдэг тооцон хасах тэмдэг авсан байна.
Архимедын хүч нь биед хий ба шингэний зүгээс үйлчлэх эгц дээш чиглэсэн хүч юм.

$$F_{\text{а}} = \rho_{\text{ш}} \cdot V_{\text{б.д}} \cdot g$$

Энд $F_{\text{а}}$-Архимедын хүч, $\rho_{\text{ш}}$-шингэний нягт, $V_{\text{б.д}}$-биеийн шингэнд дүрэгдсэн хэсгийн эзлэхүүн.
Шингэнд биеийг бүрэн дүрэхэд биеийн доороос ба дээрээс шингэний зүгээс үйлчлэх хүчний зөрөөнөөс болж өргөх хүч үүснэ. Энэ хүч нь түрэгдэж гарсан шингэний жинтэй тэнцүү юм.

Туршилт Шилэн савны ёроолд давс хийгээд дээр нь түүхий өндөг тавиарай. Савыг усаар дүүргэхэд хэсэг хугацааны дараа өндөг хөөрөн савны дунд тогтоно. Туршилтын үр дүнг хэлэлцээрэй.

Дасгал

1. 65 кг масстай аав хүүгээ мөрөн дээрээ суулгахад шаланд үйлчлэх хүч ямар байх вэ? Хүүгийн масс 12 кг.
2. Хэвтээ чигт 30° өнцөг үүсгэх налуу дээр 4 кг масстай ачаа гулсахгүй тогтож байгаа бол налуугаас үйлчилж байгаа реакцийн хүчийг ол.
3. Зураг 30-д үзүүлсэн 5 кг масстай ачааг хэвтээ чигтэй 60° өнцөг үүсгэн 50 Н хүчээр татаж байгаа бол реакцийн хүчийг ол.
4. 40 г масстай шоог аягатай усанд хийхэд шооны 20% нь хөвсөн бол шооны нягт болон аяганд ширээнээс тулах хүчний өөрчлөлтийг олно уу.
5. 3 кг масстай биеийг 20 Н/мм хаттай резинэн жийргэвч хавчуулж шалан дээр тавив. Шалнаас үйлчлэх реакцийн хүчийг олно уу. Мөн жийргэвчийн деформацлах хэмжээг олоорой.

Ньютоны хуулиуд

Ньютоны I хууль

Бие гаднаас хүч үйлчлэх хүртэл тайван байдал эсвэл шулуун жигд хөдөлгөөнөө хадгална. Үүнийг Ньютоны нэгдүгээр хууль гэнэ. Ньютоны 1-р хуулийг математик илэрхийллээр бичвэл:

$$\vec{F} = 0 \Rightarrow \vec{\upsilon} = \text{const} \quad (39)$$

Гүйж яваад бүдэрвэл урагшаа ойчдог нь хөлийн хөдөлгөөн хоригдоход бие нь хөдөлгөөнөө хадгалан урагшаа хөдөлсний үр дүн юм.Үүнийг бид эрчиндээ ойчлоо гэж

Зураг 32.

Гольфын цохиурын масс яагаад бөмбөгнөөсөө их байх хэрэгтэй вэ (Зураг 32)? Сумочид яагаад их тарган байдаг вэ? гэх мэт инерцит шинж чанарыг харуулсан асуултуудад хариулт өгөн жишээ татан ярилцаарай.

Инерциал ба инерциал бус тооллын системүүдийн жишээ гарган, хэрхэн ялгаж байгаагаа тайлбарлан хэлэлцээрэй.

хэлдэг. Хөдөлгөөнөө хадгалах энэ шинж чанарыг инерцит шинж чанар гэдэг. Биеийн инерцит шинж чанарын хэмжүүр нь масс юм. Тэгш талбай дээр тэргэнцрийг түрэх амархан байхад асаагаагүй авто машиныг түрэхэд хэцүү буюу хурд нь удаанаар нэмэгддэг нь масс ихтэй буюу инерц ихтэйн илрэл юм.

Ньютоны I хууль нь байгалийн тулгуур хууль юм. Учир нь энэ хууль биелэх тооллын системийг инерциал тооллын систем гэнэ. Инерциал тооллын системд физикийн хуулиудыг томьёолсон тул бүх инерциал тооллын системд физикийн хуулиуд ижилхэн байна.

Нэг инерциал тооллын системтэй харьцангуй тогтмол хурдтай хөдлөх тооллын системүүд нь мөн инерциал байна. Жишээ нь тогтмол хурдтай хөдлөх галт тэрэг, онгоцны дотор суух, явах гэх мэт хөдөлгөөн хийхэд гэртээ байгаатай адилхан байдаг. Инерциал тооллын системтэй харьцангуй хурдатгалтай хөдлөх тооллын систем нь инерциал бус тооллын систем болно. Бид энэ удаад зөвхөн инерциал тооллын системд л үзэгдлийг судална.

Ньютоны II хууль

Биед хүч үйлчлээгүй үеийн шинж чанарыг Ньютоны I хуульд тодорхойлсон бол II хууль нь хүч үйлчилбэл хөдөлгөөн хэрхэн өөрчлөгдөхийг томьёолно. Биед үйлчлэх бүх хүчнүүдийн нийлбэрийг дүнгийн хүч буюу тэнцүү үйлчлэгч хүч гэнэ. Дүнгийн хүч нь тэг бол бие хөдлөхгүй эсвэл тогтмол хурдтай хөдөлнө. Үүнийг Ньютоны I хуулийг илэрхийлж байна гэж ташаа ойлгох тохиолдол гардаг. Эсрэг тохиолдолд Ньютоны II хуулийн тухайн тохиолдол нь Ньютоны I хууль болоход хүрнэ.

Биеийн хөдөлгөөний хурдатгал нь масс тогтмол үед гаднаас үйлчлэх дүнгийн хүчинд шууд, хүч тогтмол үед массаас урвуу пропорционал хамааралтай байна.

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

Биеийн хөдөлгөөний тэгшитгэлийг Ньютоны хоёрдугаар хуулиар дараах байдлаар бичнэ.

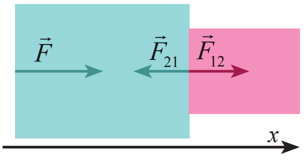
$$\vec{F} = m\vec{a}$$

Дээрх илэрхийллээс биед үйлчлэх дүнгийн хүч нь биеийн массыг түүний олж авах хурдатгалаар үржүүлсэнтэй тэнцүү байна.

Ньютоны III хууль

Аливаа харилцан үйлчлэл нь хэмжээгээрээ тэнцүү чиглэлээрээ эсрэг чиглэх хос хүчээр тодорхойлогдоно.

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$



Зураг 33

Энд $\vec{F}_{12}$ нэгдүгээр биед хоёрдугаар биеэс үйлчлэх хүч, $\vec{F}_{21}$ нь хоёрдугаар биед нэгдүгээр биеэс үйлчлэх хүч (Зураг 33).

Ньютоны III хуулиар дэлхийн татах хүч нь дэлхийд татагдах хүчтэй хэмжээгээрээ тэнцүү юм байна.

Жишээ: Зураг 33-д үзүүлсэн биеүдийн масс $m_1 = 6$ кг ба $m_2 = 4$ кг, үйлчилж байгаа хүч нь $F = 40$ Н бол биеүд ямар хурдатгалтай хөдлөх вэ? 1-р биеэс 2-р биед үйлчлэх хүчийг ол.

Бодолт Зурагт үзүүлснээр хүчнүүдийг зурж тэмдэглээд бие тус бүрийн хувьд хөдөлгөөний тэгшитгэлийг Ньютоны II хуулиар бичье. Биеүд хамт хөдлөх учир адилхан хурдатгалтай байна.

$$\begin{cases} m_1\vec{a} = \vec{F} + \vec{F}_{21} \\ m_2\vec{a} = \vec{F}_{12} \end{cases}$$

x тэнхлэг дээр проекцолбол

$$\begin{cases} m_1 a = F - F_{21} \\ m_2 a = F_{12} \end{cases}$$

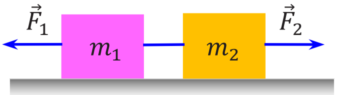
Тэгшитгэлүүдийг хооронд нь нэмбэл Ньютоны III хуулиар $-F_{21} + F_{12} = 0$ учир хурдатгал нь

$$a = \frac{F}{m_1 + m_2} = \frac{40}{6+4} = 4\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

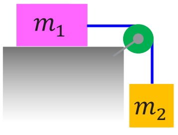
болох ба 1-р биеэс 2-р биед үйлчлэх хүч нь $F_{12} = m_1 a = 4 \cdot 4 = 16$ Н болно.

Дасгал

1. Гөлгөр гадарга дээр хооронд нь нарийн утсаар холбосон $m_1 = 200$ г ба $m_2 = 300$ г масстай хоёр биед зурагт үзүүлснээр $F_1 = 0.6$ Н ба $F_2 = 0.4$ Н хүчээр үйлчилнэ. Биесийн хөдлөх хурдатгал ба тэдгээрийг холбосон утасны татах хүчийг тодорхойл.
2. $m_1 = 2$ кг ба $m_2 = 3$ кг масстай хоёр биеийг хооронд нь хөнгөн, үл хөдлөх тэнхлэгтэй эргэвч дээгүүр үл сунах, жингүй утсаар холбосон байв. Тэдгээрийн хурдатгал болон холбосон утасны татах хүчийг тодорхойл.
3. Хөнгөн үл хөдлөх тэнхлэгтэй эргэвч дээгүүр үл сунах, жингүй утас тохож хоёр үзүүрээс ижил m масстай ачаанууд зүүжээ. Нэг зэрэг ачаанууд дээр m ба $3m$ масстай туухайнууд тавьсан бол системийн хурдатгал, утасны татах хүч ба ачаанууд дээрх туухайнуудын үүсгэх даралтын хүчийг тус тус тодорхойл. Үрэлтийг тооцохгүй.



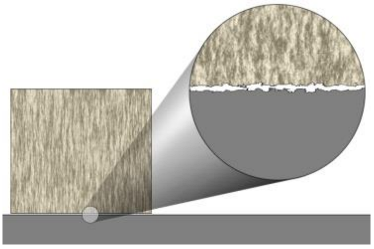
Дасгал 1



Дасгал 2

Гулсахын ба тайвны үрэлтийн хүч

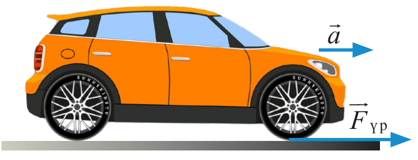
Тавцан дээгүүр биеийг гулсуулахад үрэлтийн хүчний улмаас хөдөлгөөний хурд саардгийг бид мэднэ. Үрэлтийн хүч нь тавцан болон биеийн шүргэлцэх гадарга барзгар байгаатай холбоотой юм (Зураг 34). Үрэлтийн хүч нь гадаргыг ердийн аргаар зүлгэн өнгөлж гөлгөр болгосноор багасах боловч бүрэн алга болохгүй. Учир нь хэчнээн ингэж өнгөлсөн ч гадарга нь бага хэмжээний барзгар байх болно. Гөлгөр тэгш гадарга гэдэг бодит байдал дээр макро түвшинд загварчилсан ойлголт юм.


Зураг 34.

Бие гадаргаар гулсах үед үүсэх үрэлтийг **гулсахын үрэлт** буюу **кинетик үрэлт** гэнэ. Гулсахын үрэлтийн хүч нь харилцан шүргэлцэх гадаргын шинж чанараас хамаарахаас гадна гадаргыг шахах хүч ба реакцийн хүчтэй шууд пропорционал хамааралтай байна.

$$F_{гул} = \mu N$$

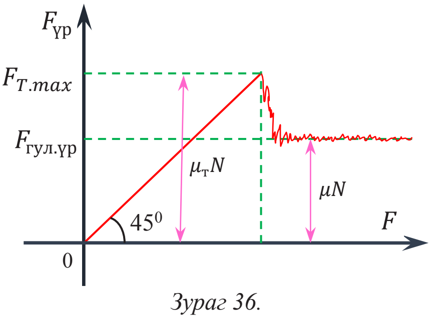
N – реакцийн хүч (энэ хүч нь гадарга хоорондын шахалтын хүчтэй тэнцүү юм),
μ – үрэлтийн коэффицент
Хатуу гадаргын хооронд үүсэх гулсахын үрэлтийн хүч нь шүргэлцэх гадаргын талбайнаас хамаардаггүй байна. Жишээлбэл номыг ширээн дээгүүр хавтгайгаар нь чирэх, нуруугаар нь чирэх хоёр тохиолдолд үрэлтийн хүч ялгаагүй ижилхэн байна. Харин элс, цас, шороон дээгүүр биеийг чирэхэд харьцах гадаргын талбайнаас хамаарч даралт өөрчлөгдсөнөөр гадаргын шинж чанар, улмаар үрэлтийн коэффицент өөрчлөгддөг. Жишээ нь цанаар гулгахад цаны талбай их байдаг тул цасанд бага шигдэж, үрэлт бага болдог.



Зураг 35.

$$\vec{F}_{үр}^{\text{т}} = -\vec{F}_x$$

тайвны үрэлтийн хүч гадны хүчний хэвтээ байгуулагчтай тэнцүү, эсрэг чиглэлтэй байна.



Зураг 36.

$$0 \le F_{үр}^{\text{т}} \le F_{үрmax}^{\text{т}} = \mu^{T} \cdot N$$

тайвны үрэлтийн хүчний дээд утга реакцийн хүчнээс шууд пропорционал хамаарна.

Үрэлтийн хүч нь харьцаж буй гадаргын харилцан шилжилтийн эсрэг үүсдэг. Өөрөөр хэлбэл гулсахын эсрэг үрэлтийн хүч үүсдэг бөгөөд энэ нь бусад хөдөлгөөнийг үүсгэх шалтгаан болно.
Унадаг дугуй, машины давших хөдөлгөөн, хүний алхах зэргийг үрэлтийн хүч бий болгодог. Учир нь машины дугуй болон гутал халтирч гулгахын эсрэг үүссэн үрэлтийн хүч нь зүтгэх хүч болж, хөдөлгөөнд оруулж байна (Зураг 35).
Нэг биеийн гадаргуу дээгүүр гулсахыг эрмэлзэх үед уг хөдөлгөөнийг саатуулах хүч үүсдэг. Үүнийг **тайвны** буюу **статик үрэлт** гэнэ.
Тайвны үрэлт нь гулсахын үрэлтээс онцлог ялгаатай хүч юм. Учир нь тайвны үрэлтийн хүч нь реакцийн буюу гадарга хоорондын шахалтын хүчээр тодорхойлогдохгүй. Тайвны үрэлтийн хүч нь шүргэж байгаа хоёр гадаргын харьцангуй хөдөлгөөний эсрэг чиглэнэ. Тайвны үрэлтийн хүч нь гадны хүч ихсэхэд ихсээд, багасахад дагаад багасна.
Реакцийн хүч тогтмол үед биеийн гадаргын дагуу хүч үйлчлэхэд үүсэх үрэлтийн хүч, үйлчилж байгаа хүчнээс хэрхэн хамаарахыг зураг 36-д харуулжээ. Тайвны үрэлтээс гулсахын үрэлтэд шилжихэд үрэлтийн хүч огцом буурч тогтворжиж байна. Тайвны үрэлтийн хүчний хамгийн их утгаас гулсахын үрэлт нь бага байгаагийн нэг шалтгаан нь шүргэлцэхэд тулж байсан цэгийн тоо гулсах үед цөөрсөнтэй холбоотой юм. Иймд зориудаар ширхэгт хэлбэртэй резинэн гадарга үүсгэснээр гаднаас хүч үйлчлэхэд ширхэгтүүд деформацлан шилжиж эхлэн дахин ширхэгтүүд нэмэгдэж шүргэлцэн тайвны үрэлтийн хүчийг ихэсгэдэг байна. Үүний жишээ нь автомашины дугуйны хээ үрэлтийг нэмэгдүүлдэг. Үрэлтийн коэффицент нь шүргэлцэх материалуудаас гадна тэдгээр гадаргын өнгөлгөөнөөс хамаарах учраас

Үрэлтийн коэффицент

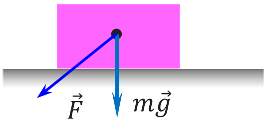
Хүрэлцэж буй материалууд	Тайвны үрэлтийн коэффицент	Гулсахын үрэлтийн коэффицент
Ган гантай	0.77	0.61
Хөнгөн цагаан гантай	0.62	0.49
Зэс гантай	0.51	0.38
Мод модтой	0.42	0.32
Металл металлтай (тосолсон)	0.10	0.05
Мөс мөстэй	0.11	0.03

дараах хүснэгтийн утга нь тухайн тохиолдолд хэмжигдсэн утга болно. Цас мөстэй, шавар устай, хайрган зам дээр гулсахын үрэлтийн хүч тайвны үрэлтийн хүчний хамгийн их утгаас олон дахин бага болсноор шарвах, халтирах үзэгдэл ажиглагддаг байна. Гулсалтын үед цас мөс хайлж, хайрганы ширхэгүүд өнхрөлт хийсэнтэй холбоотойгоор үрэлтийн хүч маш бага болдог.

Автомашин цас мөстэй шулуун зам дээр ч, эргэлтэн дээр ч шарвахын шалтгааныг тайлбарлан хэлэлцээрэй. Яагаад бид мөстсөн зам дээр болгоомжтой удаан явдаг вэ?

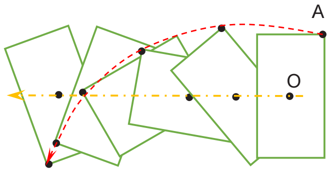
Дасгал

1. Бие ба налуу гадаргын хоорондын статик ба кинетик үрэлтийн коэффицент харгалзан 0.866, 0.707 байв.
   а. Налуугийн өнцгийг ямар хэмжээтэй ихэсгэвэл бие гулсаж эхлэх вэ?
   б. Гулсаж эхлэхэд хурдатгал нь ямар байх вэ?
   в. Налуугийн өнцөг ямар байхад бие тогтмол хурдтай гулсах вэ?
2. Хэвтээ чигт 30° өнцөг үүсгэх налуугаар 2 кг масстай цул цилиндр ба цагариг харгалзан g/3, g/4 хурдатгалтайгаар өнхрөн бууна. Эдгээрт үйлчлэх үрэлтийн хүчнүүдийг олно уу?
3. 1.5 тн масстай суудлын авто машин шинэ дугуйтай үед замтай харьцах статик үрэлтийн коэффицент 1.0 байснаа хээ нь элэгдсээр 0.6 болов. Дөрвөн дугуйгаараа зүтгэх машины хамгийн их зүтгэх хүч хэдээс хэд хүртэл өөрчлөгдсөн бэ?
4. m = 10 кг масстай биеийг зурагт үзүүлснээр хэвтээ чигт $\alpha = 30°$ өнцөг үүсгэн хамгийн багадаа ямар хүчээр түлхвэл бие хөдлөх вэ? Бие ба шалны хоорондох үрэлтийн коэффицент $\mu = 0.4$ болно.



5. *Халтирах.* Хүн халтирч унахад хөл нь гулсаж цээжин бие нь үлддэг, харин бүдэрч унахад хөл нь үлдэж цээжин бие нь урагш тэмүүлдэг ажээ. Үүний учир юу вэ?

4. МАССЫН ТӨВ

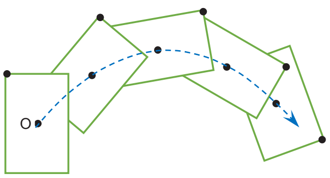


Зураг 37.

Массын төвийн хөдөлгөөн

Хатуу бие нь давших болон эргэх хөдөлгөөн хийнэ. Жишээ нь автомашин хөдлөхөд түүний дугуй машинтай хамт давшин хөдлөхөөс гадна эргэх хөдөлгөөн хийж өнхөрнө.

Аливаа хатуу биеийн хөдөлгөөнийг тодорхойлохдоо түүнд бэхлэгдсэн нэг цэгийн давших хөдөлгөөн болон түүнтэй харьцангуй эргэх хөдөлгөөнийг тодорхойлдог. Тэгэхээр сонгон авсан давших хөдөлгөөнийг нь судлах цэгийг туйл гэх ба түүнд ямар ч цэгийг сонгон авч болох боловч туйлын цэгийг хаана сонгосноос хамаарч хөдөлгөөнийг илэрхийлэхэд хялбар эсвэл төвөгтэй болдог. Жишээ нь гадны харилцан үйлчлэлгүй үед нэгэн төрөл тэгш өнцөгт хавтангийн эргэлдэн давших хөдөлгөөнийг авч үзье. Зураг 37-д А цэгийг туйл болгон авбал энэ нь муруй траекториор жигд биш хөдөлгөөн хийх ба түүнтэй харьцангуй хатуу бие жигд эргэлдэнэ. Харин түүний төвийн цэг О-г туйл болгон авбал О цэг нь шулуунаар жигд хөдлөх ба бие түүнтэй харьцангуй жигд эргэх болно. Үүнтэй адил чөлөөтэй хөдлөх дурын хатуу биеийн хувьд шулуунаар хөдлөх цорын ганц цэг олдох ба тэр нь биеийн массын төв юм.



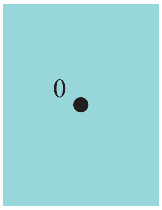
Зураг 38.

Хатуу биеийн массын төв цэг чөлөөт хөдөлгөөн хийх үед шулуунаар, харин хүндийн хүчний оронд шидэгдсэн биеийн хувьд агаарын эсэргүүцэл тооцохооргүй бага байвал парабол траекториор хөдөлнө. Хүндийн хүчний оронд шидэгдсэн тэгш өнцөгтийн хөдөлгөөнийг ажиглахад эргэлдэх болон давших нэлээд төвөгтэй хөдөлгөөн хийж байгааг харж болно. Харин түүний массын төв шидсэн жижиг бөмбөгийн адил парабол траекториор хөдөлнө (Зураг 38). Хатуу биед хүндийн хүчийг түүний массын төвд үйлчилнэ хэмээн тооцож болдог.

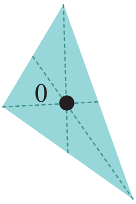
Массын төв бол биесийн системийн параметр юм.

Геометрийн зөв хэлбэртэй нэгэн төрөл биеийн массын төв түүний геометр төвтэй давхцана.

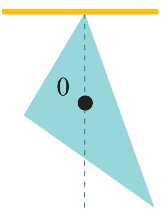
Зураг 39



Зураг 40



Зураг 41



Зураг 42

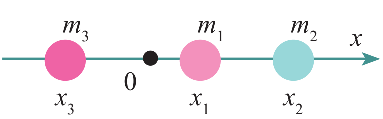
Нэгэн төрлийн савааны массын төв нь (Зураг 39) түүний дундаж цэг дээр байрлана. Нэгэн төрөл тэгш өнцөгт хавтгайн массын төв (Зураг 40) түүний диагоналуудын огтлолцол дээр байрлана. Нэгэн төрлийн гурвалжин хавтгайн массын төв (Зураг 41) түүний медиануудын огтлолцол дээр байрлана.
Хатуу биеийн онцгой цэг болох энэхүү массын төв цэгт тулах буюу дүүжилбэл бие дурын байрлалд хүндийн хүчний оронд тэнцвэртэй байж чадна. Иймд энэхүү цэгийг биеийн хүндийн төв гэж бас нэрлэдэг. Томоохон бие жишээ нь сарны хувьд массын төвөөс хүндийн төв нь зөрдөг учир сар үргэлж нэг талаараа дэлхий рүү харж эргэлдэнэ.
Хатуу биеийг дурын цэгээс нь дүүжлэхэд хүндийн төв нь хамгийн доод байрлалдаа очиход л бие тэнцвэрт орно. Зураг 42-д гурвалжин хавтанг утсаар дүүжилснийг харуулжээ. Биеийг дүүжлэхэд дүүжлэгдсэн цэгийг дайрах босоо шулуун дээр түүний хүндийн төв оршино. Иймд биеийг хоёр удаа дүүжлэн босоо шулууныг байгуулж чадвал тэдгээрийн огтлолцол нь массын төв болон хүндийн төв байна.

Туршилт *Номны хүндийн төв хаана байгааг ойролцоогоор тодорхойлоорой.* Хуруны өндөг хаана байрлахад ном тогтов? Мөн яагаад тогтохдоо муу бас дэнжигнээд байгаад тайлбар хийж хэлэлцээрэй.

Туршилт *Нэгэн төрлийн хавтгай биетийн хүндийн төвийг тодорхойлох.* Тэгш өнцөгт, гурвалжин, дурын хэлбэртэй хатуу цаасныудыг аваарай. Утсанд үзэг балаа бэхлэн зүүнээс дүүжилье. Дээрх биеүдийн дурын цэгт зүүгээ хатган дүүжлэх замаар биеүдийн хүндийн төвийг тодорхойлоорой.

Массын төвийг тооцоолох

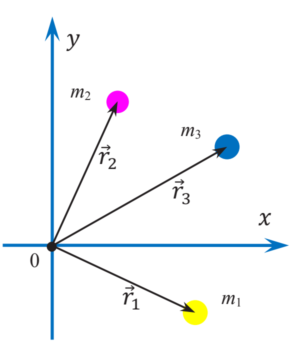
Хэд хэдэн хэсгээс тогтох биетийн массын төвийг тодорхойлъё. Хэсэг тус бүрийн массын төв мэдэгдэж байвал тухайн хэсгийн массыг массын төв дээрээ байгаа мэтээр үзэж болно.



Зураг 43.

Шулуун дээр байрлах m_1, m_2, m_3 масстай хэсгүүдийн төвүүд харгалзан x_1, x_2, x_3 координаттай байвал системийн массын төв нь дараах томьёогоор олдоно (Зураг 43).

$$x_c = \frac{x_1 m_1 + x_2 m_2 + x_3 m_3}{m_1 + m_2 + m_3}$$



Зураг 44.

Массын төвийн координат $x_т$ нь хэчнээн ч олон хэсгээс бие бүрдэж байсан бүх хэсгүүдийн массын төвийн координатуудыг харгалзах массуудаар нь үржүүлээд нийт массад хуваахад гарна.
Массын төвийн координат нь $\vec{r}_c$ векторын проекцууд учир (Зураг 44).

$$x_c = r_{тx} = \frac{x_1 m_1 + x_2 m_2 + x_3 m_3}{m_1 + m_2 + m_3}$$

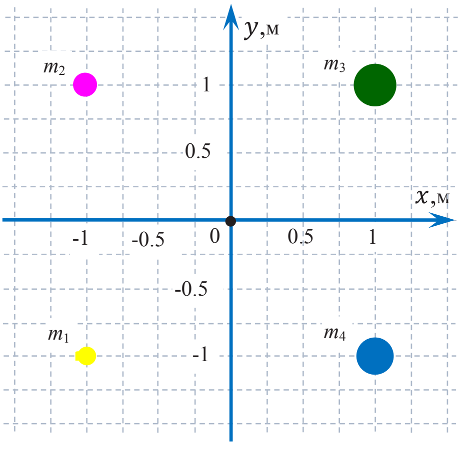
$$y_c = r_{тy} = \frac{y_1 m_1 + y_2 m_2 + y_3 m_3}{m_1 + m_2 + m_3}$$

Жишээ: 2 м урт талтай жингүй квадратын оройнууд дээр m_1, m_2, m_3, m_4 масстай биеүд байрлана. Тэдгээрийн массууд нь харгалзан 2 кг, 3 кг, 8 кг, 7 кг байв (Зурагт 45).

а. Координатын эх зурагт үзүүлснээр квадратын төв дээр байрлах үед массын төвийн координатуудыг ол.

б. Массын төв нь квадратын төвөөс ямар зайд байна вэ?

в. Массын төв нь аль биед хамгийн ойр, аль биеэс хамгийн хол байна вэ?



Зураг 45.

Бодолт а. Биеийн координатуудыг орлуулж массын төвийг олбол координат нь:

$$x_1 = -1 \text{ м},\ x_2 = -1 \text{ м},\ x_3 = 1 \text{ м},\ x_4 = 1 \text{ м}$$

$$y_1 = -1 \text{ м},\ y_2 = 1 \text{ м},\ \ y_3 = 1 \text{ м},\ y_4 = -1 \text{ м}$$

$$x_т = \frac{2(-1)+3(-1)+8\cdot1+7\cdot1}{2+3+8+7} = 0.5 \text{ м}$$

$$y_т = \frac{2(-1)+3\cdot1+8\cdot1+7(-1)}{2+3+8+7} = 0.1 \text{ м}$$

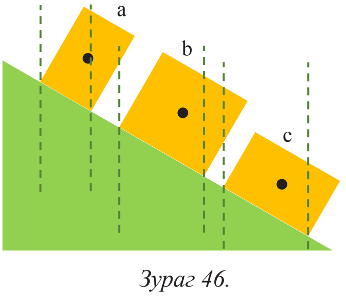
б. $l = \sqrt{(x_т - 0)^2 + (y_т - 0)^2} = \sqrt{0.26}$ м

в. Массын төв нь хамгийн хөнгөн 1-р биеэс хол, хамгийн хүнд 3-р биед ойр байна.

Зарим хатуу биеүдийн хүндийн төв

Нэгэн төрлийн материалтай зөв хэлбэртэй биеүдийн хүндийн төвүүдийг сонирхъё. Тэгш өнцөгт параллелепипедийн массын төв нь диагоналуудынх нь огтлолцлын цэгт байрлана. Ийм болохыг бид хялбар баталж болох юм. Үүний тулд параллелепипедийн аль нэг талтай нь параллелаар ижилхэн зузаантай нимгэн хавтгайнууд болгон зүсвэл хавтгайнуудын массын төв нь тэдгээрийн диагоналуудын огтлолцол дээр байрлана. Хавтгайнуудын массын төвүүд нэг шулуун дээр байх ба параллелепипедийн массын төв нь тэдгээрийн массын төвүүдийн дундаж дээр байрлах учир энэ нь параллелепипедийн диагоналуудын огтлолцол болно.

Бөмбөрцгийн хүндийн төв түүний төвд байрлана. Харин цилиндрийн хүндийн төв нь эргэлтийн тэнхлэгийн дундаж цэг дээр байрлана.



Зураг 46.

Тогтвор

Хатуу биеийг налуу гадарга дээр байрлуулахад тогтвортой байх эсэх нь юунаас хамаарах вэ?

Биеийн гадаргад хүрэлцэн тулж байгаа цэгүүдийн захын цэгүүдийг холбоход үүсэх гүдгэр олон өнцөгтийг суурийн талбар гэж нэрлэе. Суурийн талбарын эгц дээрх орон зайд хүндийн төв цэг оршиж байвал бие хөдлөхгүй (унахгүй) тогтвортой байна. Хатуу биеийг хазгай гадарга дээр байрлуулахад массын төв суурийн талбарын эгц дээрх орчинд багтаж байвал бие унахгүй тогтвортой байна. Налалтын өнцөг ихэссээр массын төв суурийн талбарын эгц дээрх мужаас гарахад бие унана. Биеийн хүндийн төвийг аль болох доор байлгавал хазайлгахад унахгүй

> **Туршилт** Хана налж зогсоод нэг хөлөө өргөх болон тонгойж гараа хөлний үзүүрт хүргэх туршилтыг хийгээд дүгнэн ярилцаарай.

байх өнцөг ихсэж, биеийн тогтвор сайжирна.

Зураг 46-д тэгш өнцөгтүүдийг налуу дээр байрлуулжээ. Налуугийн өнцгийг ихэсгэхэд суурийн талбарын эгц дээрх мужаас эхлээд a биеийн, дараа нь b биеийн, хамгийн сүүлд c биеийн хүндийн төв гарах учир эхлэж a, дараа нь b, сүүлд нь c бие унана. Тэгэхээр, хамгийн тогтвортой нь c бие байна.

Хүн зогсож байхад хүний биеийн хүндийн төв хүйсний орчим байрлана. Хүний хүндийн төв хоёр хөлийн улыг агуулсан гүдгэр олон өнцөгт суурь талбайн дээр байрлах үед зогсож чаддаг.

Бид тонгойх, алхах, гар, хөлөө хөдөлгөхдөө ямагт массын төвөө энэ мужид байхаар зохицуулдаг байна. Энэ үйлдэл нь робот хүн хийхэд шийдвэрлэх чухал асуудал болдог.

Машины тогтворыг сайжруулах үүднээс намхан хийдэг. Мөн том оврын машинуудын массын төвийг доошлуулахаас гадна дугуй хоорондын зайг холдуулснаар машины тогтвор нэмэгддэг байна. Зарим суудлын тэрэг хурдлах тутам массын төвөө доошлуулж тогтвороо нэмэгдүүлдэг байна.

Дасгал

Дасгал 1

Дасгал 3

1. l=1.2 м урт, $m=1$ кг масстай саваанд 1 кг, 3 кг, 4 кг, 5 кг масстай цул бөмбөрцгүүдийг дараалуулан байрлуулав. Бөмбөрцгүүдийн төвүүдийн хоорондох зай тэнцүү 0.4 м бол системийн хүндийн төвийг тодорхойл. Координатууд метрээр өгөгдсөн.
2. A(2, 5), B(–2, 4), C(0, 3) координаттай цэгүүд дээр 0.2 кг масстай, D(5, –5), E(4, 5) цэгүүд дээр 0.5 кг масстай биеүд байгаа бол массын төвийг ол. Цэгийн координатууд метрээр илэрхийлгдэнэ.
3. R=30 мм радиустай цагаргаас d=20 мм урттай хэсгийг хөрөөдөж авбал хүндийн төв цагаргийн төвөөс ямар зайд шилжих вэ?
4. M масстай хар тугалган цул бөмбөрцгөөс түүний төв ба гадаргын хооронд багтах бөмбөрцөг хэсгийг нь ухаж авсан бол үлдсэн хэсгийн хүндийн төвийг тодорхойл.
5. Цилиндрийн радиус 0.3 м ба өндөр нь 0.8 м бол сууриар нь тавьсан цилиндрийг ямар өнцгөөр хазайлгавал унах вэ?

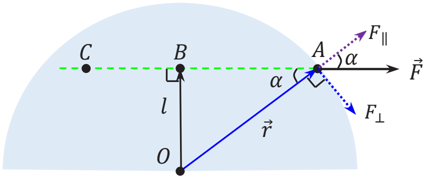
5. ХҮЧНИЙ ЭРГҮҮЛЭХ ҮЙЛЧЛЭЛ

Хүчний момент

Бид хүч үйлчлэхэд хурдатгалтай давших хөдөлгөөнд ордог болохыг бид мэднэ. Хүч нь биеийг давших хөдөлгөөнд оруулахаас гадна эргүүлэх үйлчлэл үзүүлж эргэх хөдөлгөөнийг үүсгэнэ. Жишээ нь хөл бөмбөгийг эргэлттэй өшиглөх, шагайг няслахад эргэлдэж байгааг ажиглаж болох юм.

Зураг 47.

Биеийг эргэх хөдөлгөөнд оруулахын тулд хүчний эргүүлэх үйлчлэлээр харилцан үйлчилнэ. Бид усны цорго эргүүлэн хаах, шургийг халиваар эргүүлэн чангалах зэрэгт эргүүлэх хүчний үйлчлэл үзүүлж байна. Чангалсан боолтыг эргүүлэн тайлахад хүч их шаардагдаж, боолтыг тайлж чадахгүй тохиолдолд түлхүүрийнхээ ишийг уртасгаад амархан эргүүлж тайлдаг (Зураг 47). Тэгэхээр эргүүлэх хүчний үйлчлэлийг ихэсгэхийн тулд түлхүүрийн ишийг уртасгаж байгаа нь хүчийг эргэлтийн тэнхлэгээс хол цэгт үйлчлүүлж байгаа хэрэг юм. Хүчний эргүүлэх үйлчлэлийн хэмжээг **хүчний момент** гэж нэрлэнэ.



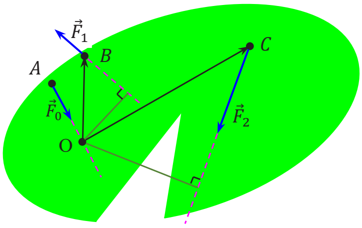
Зураг 48.

Зураг 48-д үзүүлсэн O цэгт эргэлтийн тэнхлэгтэй (нугастай) тал дугуй биетийн A цэгээс $\vec{F}$ хүчээр татжээ. Хүчийг радиус вектортой параллел $F_{\parallel}$ ба перпендикуляр $F_{\perp}$ байгуулагч болгон задалъя.

$$\begin{cases} F_{\parallel} = F \cdot \cos\alpha \\ F_{\perp} = F \cdot \sin\alpha \end{cases}$$

Хүчний момент гэж хүчийг мөрөөр үржүүлсэн үржвэрийг хэлнэ.
Хүчний момент = хүч · мөр

Хүчний радиус вектортой параллел $F_{\parallel}$ байгуулагч нь нугасны дагуу үйлчлэх учир эргэх үйлчлэл үзүүлэхгүй буюу радиус вектортой параллел байгуулагч нь хүчний момент үүсгэхгүй юм



Зураг 49.

байна. Харин хүчний радиус векторт перпендикуляр $F_{\perp}$ байгуулагч нь хагас дугуйг цагийн зүүний эргэлтийн дагуу эргүүлэх үйлчлэл үзүүлж байна. Эргэлтийн тэнхлэг ба хүчийг агуулсан шулууны хоорондох зайг хүчний мөр гэдэг болохыг эргэн сануулъя. Хүчний момент M нь $F_{\perp}$ хүчийг түүний мөр r-ээр үржүүлж гарна.

$$M = F_{\perp} r = F \cdot r \cdot sin\alpha$$

Харин $\vec{F}$ хүчний мөр нь зурагт үзүүлснээр $l = r \sin \alpha$ байгаа учир дээрх томьёог дараах хэлбэрээр бичиж болно.

$$M = F \cdot l$$

Хэрэв хүч эргэлтийн тэнхлэгийг дайрах чиглэлд үйлчилж байвал хүчний мөр тэг болох тул хүчний момент нь тэг буюу эргүүлэх үйлчлэл үзүүлэхгүй. Хүчний мөр тэг биш бол хүчний момент нь биеийн эргэлтийн тэнхлэгийг тойруулан эргүүлэх үйлчлэлийг үзүүлж байна. Хүчний моментын чиглэлийг харгалзан дараах тэмдэг тооцох дүрмийг тодорхойлъё. Цагийн зүүний эргэлтийн эсрэг эргүүлэх үйлчлэлтэй хүчний моментыг эерэг тэмдэгтэй, дагуу эргүүлэх үйлчлэлтэй хүчний моментыг сөрөг тэмдэгтэй авна. Ингэснээр бид биед олон хүч үйлчлэх үед нийлбэр хүчний моментыг тооцох боломжтой болно.

Зураг 49-д үзүүлсэн жишээнд O эргэлтийн тэнхлэгийн хувьд $\vec{F}_0$ хүчний момент $M_0 = 0$, $\vec{F}_1$ хүчний момент $M_1 > 0$, $\vec{F}_2$ хүчний момент $M_2 < 0$ байна.

α өнцөг нь радиус вектороос хүчний вектор руу эргэх бага эргэлтийн өнцөг юм. Бие F хүчний үйлчлэлээр O эргэлтийн төвийг тойрон цагийн зүүний эсрэг эргэх боломжтой үед α өнцөг эерэг утгатай харин хүч нь цагийн зүүний эсрэг эргүүлэх боломж олгож байвал α өнцөг сөрөг утга авна. ($|\alpha| < 180^0$ байхад α эерэг үед sin α-ийн утга нь эерэг, α нь сөрөг үед sin α нь сөрөг утга авдаг болохыг дараа математикийн хичээлээр судлах болно) синусын α өнцгийг тэмдэгтэй авбал хүчний моментын тэмдэг шууд тодорхойлогдоно.

Хүчний эргүүлэх үйлчлэлийн тэнцвэр

Зураг 50.

Бидний эргэн тойронд олон зүйл хөдлөхгүй тэнцвэрийн төлөвт байгаа нь ажиглагдана. Хана налуулан тавьсан шат, тулгуурууд дээр тавьсан бие, саваа болон утсаар бэхлэн дүүжилсэн бие гэх мэт олон жишээ дурдаж болно. Орчин үеийн бүтээн байгуулалт болон хөгжлийг дагаад санаанд оромгүй гайхалтай барилга байгууламжийн шийдэл, урлагийн бүтээлүүдийг хийх болсон (Зураг 50, 51). Тэрхүү бүтээн байгуулалт бүрийн цаана тогтвортой, тэнцвэртэй байдлыг хангах тооцооллыг хийж гүйцэтгэдэг.

Эдгээр бүтээл нь байгалийн хүчин зүйлсийн нөлөөгөөр бат бөх тогтвортой байх нь хүн амын аюулгүй, эрүүл орчинд амьдрах нөхцөлийг хангана. Үүний тулд гадны үйлчлэлийн дүн механик тэнцвэрийн нөхцөлийг хангах шаардлагатай.

Бие давшихгүй бас эргэхгүй байх тэнцвэрийн нөхцөлүүд:
1. Биед үйлчилж байгаа бүх хүчнүүдийн нийлбэр тэг байх нь давших хөдөлгөөн хийхгүй байх нөхцөл болно.

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \ldots = 0$$

2. Бие эргэхгүйн тулд дурын нэг цэгтэй харьцангуй биед үйлчлэх хүчний моментуудын нийлбэр нь тэг байх ёстой. Энд бие эргэхгүй учир биеийн дурын цэгийг эргэлтийн тэнхлэг гэж үзэж болно.

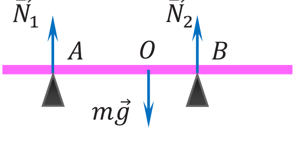
$$M_1 + M_2 + M_3 + \ldots = 0$$

Эдгээр тэнцвэрийн нөхцөлийг ашиглан биед үйлчлэх хүчнүүд хэрхэн хувиарлагдаж байгааг тодорхойлдог.

Зураг 51.

Жишээ: 6 м урттай, 6 кг масстай банзыг хэвтээ байрлалд нэг үзүүрээс 1 м ба 4 м зайд байрлах тулгуурууд дээр тавьсан бол реакцийн хүчнүүдийг ол.

Бодолт



Зураг 52.

Тэнцвэртэй байгаа учир банзанд үйлчлэгч хүчнүүдийн нийлбэр тэг байх ёстой. Моментыг дурын нэг цэгтэй харьцуулан бичиж аль болох цөөн хүчний моментоор тэгшитгэлээ бичиж, бодолтыг хялбар байхаар эргэлтийн тэнхлэгээ сонгоно (Зураг 52). Энд 1-р тулгуурын А цэгтэй харьцуулан моментын тэгшитгэлийг бичье. А цэгтэй харьцуулахад банзны төвд үйлчлэх хүндийн хүчний момент цагийн зүүний дагуу эргүүлэх үйлчлэлтэй учир хүчний момент сөрөг утгатай байна. В цэгт үйлчлэх N_2 реакцийн хүчний момент нь цагийн зүүний эргэлтийн эсрэг эргүүлэх үйлчлэл үзүүлэх учир эерэг утга авна.

$$\begin{cases} \vec{N}_1 + \vec{N}_2 + m\vec{g} = 0 \\ -|AO| \cdot mg + |AB| \cdot N_2 = 0 \end{cases}$$

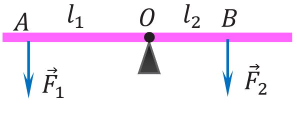
Эхний тэгшитгэлийг эгц дээш чиглэсэн тэнхлэг дээр проекцлоод 2-р тэгшитгэлээс N_2 реакцийн хүчийг олбол

$$\begin{cases} N_1 + N_2 - mg = 0 \\ N_2 = \dfrac{|AO| mg}{|AB|} = \dfrac{2 \cdot 6 \cdot 10}{3} = 40 \text{ Н} \end{cases}$$

Ингээд эхний тэгшитгэлд N_2 реакцийн хүчийг орлуулан N_1 реакцийн хүчийг олъё.

$$N_1 = mg - N_2 = 6 \cdot 10 - 40 = 20 \text{ Н}$$

Хөшүүргийн алтан дүрэм. Дамнуургын хувьд хөшүүргийн алтан дүрмийг бид мэдэх билээ (Зураг 53).



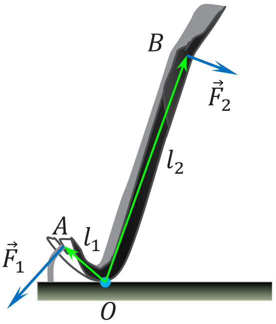
Зураг 53.

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$$

Хөшүүргийн дүрмээр мөр их бол хүч бага байна. Үүнийг мөр алдаж хүч хожих гэнэ. Энэхүү хөшүүргийн дүрэм нь үл хөдлөх эргэлтийн тэнхлэгтэй хатуу биеийн хувьд хоёр эргүүлэх хүчний үйлчлэлийн тэнцвэрт биелнэ (Зураг 54). Жишээ нь хадаасны лоомны хувьд хүчний моментын тэнцвэрийн нөхцөлийг бичвэл

$$-F_1 \cdot l_1 + F_2 \cdot l_2 = 0 \Rightarrow F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$$

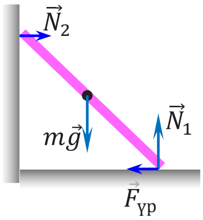
Энд дамнуургын адил хөшүүргийн алтан дүрэм биелж байгаа ба хоёроос олон хүч үйлчлэхэд ч эргүүлэх хүчний үйлчлэлүүдийн тэнцвэрийг тодорхойлдог учир хүчний моментын тэнцвэр нь ерөнхий нөхцөл болно.



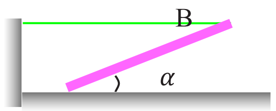
Зураг 54.

Дасгал

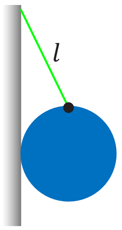
1. $l = 2$ м урт, 1 кг масстай савааны үзүүрүүдээс 3 кг ба 1 кг масстай ачаанууд зүүв. Савааны хаана орших цэгээс дээш өргөвөл саваа хэвтээ байрлалд тэнцвэртэй байх вэ?
2. 8 кг масстай, $l = 2$ м урттай шатыг гөлгөр хана түшүүлэн тавьжээ. Шат шалтай 60° өнцөг үүсгэн тогтож байгаа бол шал ба хананаас үйлчлэх реакцийн хүчийг ол.
3. Нэг төрлийн саваag B үзүүрээс хэвтээ чиглэсэн уяагаар хананаас татаж тогтоов. α өнцгийн хамгийн бага ямар утганд саваag зурагт үзүүлснээр тогтоож болох вэ? Саваа ба шалны хоорондох үрэлтийн коэффицент $\mu = 0.4$ болно.
4. R радиустай, m масстай нэг төрлийн бөмбөрцгийг босоо хананд зүүжээ. Утсыг бөмбөрцгийн яг орой дээр орших цэгээс уяжээ. Утасны татах хүч, хана бөмбөрцгийн хоорондох үрэлтийн хүчийг тус тус тодорхойл. Утасны урт $l = 2R$ болно.
5. Зургаан талтай харандааг ширээн дээр шидэв. Харандаа ба гадарга хоорондох үрэлтийн коэффицент μ ямар утгатай байхад харандаа тэнхлэгээ тойрч өнхрөхгүй гулсах вэ?



Дасгал 2



Дасгал 3



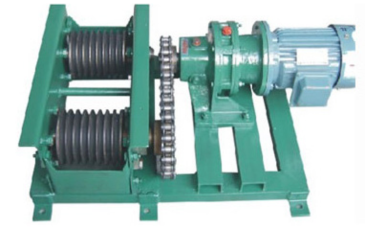
Дасгал 4

Эргүүлэх хүчний үйлчлэлийг дамжуулах

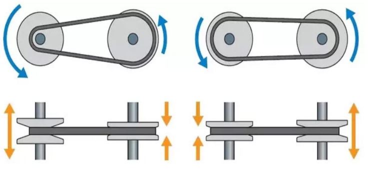
Олон бие хоорондоо түлхэлцэж таталцах замаар харилцан үйлчлэл буюу хүчийг дамжуулан үйлчлүүлж болдог. Биеийг утсаар холбон чирэх, саваагаар түлхэх, хөших гэх мэт олон жишээгээр хүчний чиглэл болон хэмжээг өөрчлөн дамжуулдгийг бид мэдэх билээ. Харин одоо хүчний эргүүлэх үйлчлэлийг хэрхэн өөрчлөн дамжуулахыг судалъя.

Автомашинаас эхлээд үйлдвэрлэлийн процесст эргэх хөдөлгөөнийг дамжуулан хувиргаж ашиглаж байгааг харж болно. Авто машины хөдөлгүүр эргэх

Зураг 55.

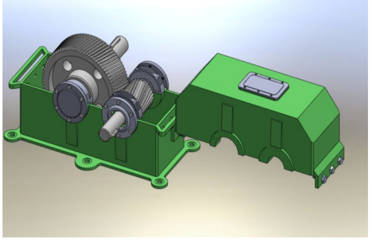


Зураг 56.

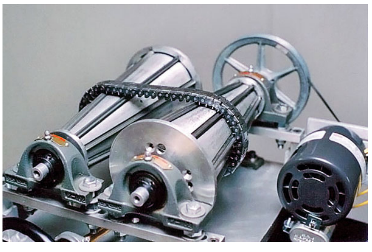


Зураг 57.

Зураг 58.



Зураг 59.



Зураг 60.

хөдөлгөөнөөр энергийг шилжүүлэн машин хөдөлгөөнд ордог. Тэгэхээр хөдөлгүүрийн хүчийг хэрхэн үнэлэх вэ? гэдэг асуудал тавигдана. Хөдөлгүүрийн хүчин чадлын хэмжүүр нь нэгж хугацаанд хийх ажлын хэмжээ буюу чадал юм. Хөдөлгүүрийн чадал нь адилхан ч үйлчлэх хүчний моментын хэмжээгээрээ хөдөлгүүрүүд ялгагддаг. Тодруулбал эргэлтийн хурд ихтэй нь хүчний момент багатай, харин эргэлтийн хурд багатай нь хүчний момент ихтэй байна. Зураг 55-д автомашины хөдөлгүүрийг үзүүлжээ. Зурагт туузан дамжуургаар туслах төхөөрөмжүүдэд хөдөлгөөнийг дамжуулж байна. Үүнд цахилгааны генератор, хөргөлтийн хөдөлгүүр, хавхлагуудыг удирдах дамар, маслын насос гэх мэт. Дулааны болон цахилгаан хөдөлгүүрээс гарсан хүчний моментыг хурдны хайрцгаар дамжуулан ихэсгэх болон багасган өөрчилж ашигладаг байна. Зураг 60-д цахилгаан хөдөлгүүрээс туузан дамжуургаар хурдны хайрцагт эргэлтийг дамжуулан перпендикуляр чиглэлд хүчний моментыг хувьсган дамжуулж байна.

Эргэх хөдөлгөөнийг араат, гинжин, туузан дамжуургуудаар шилжүүлдэг.

Араат болон дамран дамжуурга нь нэг гол дээр хамт эргэх бол хүчний моментыг өөрчлөхгүй шууд дамжуулна. Харин тусдаа эргэх харьцах араа болон дамруудад эргүүлэх хүчний үйлчлэл нь Ньютоны III хуулиар ижилхэн хүч үйлчлэх нөхцөлөөр шилжин хувирна (Зураг 56-60). Эргэх дамрууд шууд болон туузан дамжуургаар холбогдсон бол тэдгээрт үйлчлэх хүчний моментуудын харьцаа радиусуудын харьцаатай шууд хамааралтай байна (Зураг 57).

$$\frac{M_2}{M_1} = \frac{R_2}{R_1}$$

Харин араанууд шууд болон гинжин дамжуургаар холбогдсон бол тэдгээрт үйлчлэх хүчний моментуудын харьцаа арааны шүднүүдийн тооны харьцаатай шууд хамааралтай байна (Зураг 58, 59).

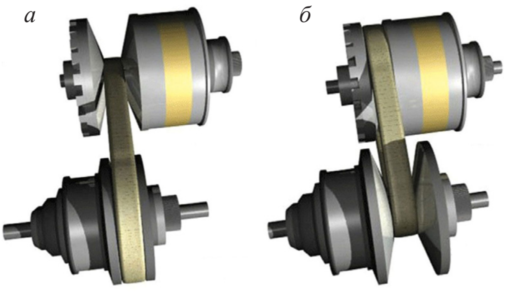
$$\frac{M_2}{M_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

Энд N_1 ба N_2 нь нэг ба хоёрдугаар арааны шүдний тоо.

Хөшүүргээр хүч хождог бол араат эсвэл дамран дамжуургаар хүчний момент хожно. Тэгэхээр эргүүлэх хүчний моментыг ихэсгэж багасгахын тулд дамруудын радиусуудын харьцааг өөрчлөх хэрэгтэй болж байна.

Механик хурдны хайрцагтай (кроптой) авто машинууд нь араагаа гараар шилжүүлэн сэлгэх замаар арааны харьцаа буюу хүчний моментыг 4-6 янзаар өөрчилдөг. Үүний үр дүнд өгсүүр газар машиныхаа зүтгэх хүчийг нэмэгдүүлж, тэгш эсвэл уруу газар хөнгөн араагаар буюу дугуйнд хүчний момент нь бага, хурдан эргэлт өгөх замаар түлшээ хэмнэлттэй зарцуулах боломжтой болдог. Орчин үед автомат хурдны хайрцгийг нэвтрүүлснээр дугуйд өгөх хүчний моментыг тасралтгүй аажим шилжүүлэх болж жолооч зорчигчийн тав тухтай аюулгүй, түлшний хэмнэлттэй зорчих боломжийг бүрдүүлсэн байна.

CVT кроп буюу автомат хурдны хайрцагт хөтлөгч болон хөтлөгдөх булнуудын радиусуудын харьцааг хувьсгах аргыг зураг 60, 61-д үзүүлжээ.



Зураг 61.

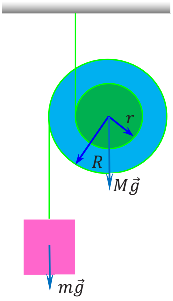
Зураг 60-д туузан дамжуурга шилжсэнээр хөтлөгч ба хөтлөгдөгч дамруудын радиусын харьцаа өөрчлөгдөж байна.

Автомат хурдны хайрцагны ажиллах бас нэг зарчмыг зураг 61-д үзүүлэв. Зураг 61а-д хүчний моментыг ихэсгэж байгаа бол зураг 61б-д хүчний момент багасаж эргэлтийн хурд нь ихсэж байна. Ийм хурдны хайрцагт туузан дамжуурга нь шилжихгүй дамруудын хацрууд ойртож холдсоноор туузны эргэх радиусыг өөрчилж өгч байна.

Дасгал 1

Дасгал 1. Гитарын утсыг шураган араат дамжуургаар чангалж хөглөдөг. Зурагт үзүүлсэн гитарын чихийг ямар хүчний моментоор эргүүлбэл утас 24 Н хүчээр татагдах вэ? Утас ороох гол нь арааны радиусаас хоёр дахин бага ба 2 мм болно.

2. Утас ороож болох M масстай, R ба r радиусуудтай дамруудын жижиг радиустай дамарт ороосон утсаар нь таазнаас зүүж, том радиустай дамарт ороосон утаснаас нь m масстай ачаа зүүв. Систем тэнцвэртэй байсан бол ачааны массыг илэрхийл.



Дасгал 2

3. 10, 20, 30 шүдтэй гурван дамжуулагч араа байв. Араанууд цувран нэгдүгээр араа хоёрдугаарыг, хоёрдугаар араа гуравдугаар арааг хөтлөн эргүүлнэ. Нэгдүгээр араанд үйлчлэх хүчний момент 24 Н·м бол гуравдугаар араанд үйлчлэх хүчний момент ямар байвал дугуйнууд эргэхгүй байх вэ?

Дасгал 5

4. Унадаг дугуйны урд ба арын арааг сэлгэх замаар дугуйнд өгөх хүчний моментыг өөрчилдөг. Дугуйны урд араа 36 ба 42 шүдтэй ба хойд араа нь 15, 17, 19, 21, 23, 25, 29 шүдтэй араануудыг сэлгэдэг бол энэ дугуй хурдны шилжүүлгийн хэдэн боломжит араатай вэ? Хүчний моментын шилжүүлэх коэффицентуудыг олоорой.

5. Зурагт өгөгдсөн арааннуудаар эргүүлэхэд хүчний моментыг хэд дахин хожих вэ?

Бүлэг 2

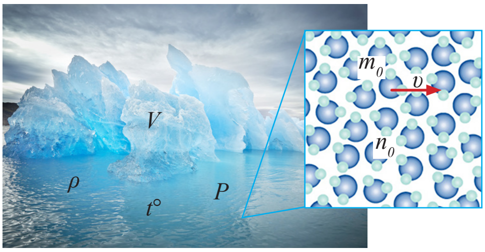
Дулаан

Биеийг бүрдүүлдэг атом молекулуудын хөдөлгөөн, харилцан үйлчлэлийн улмаас микро төлөвт гарах өөрчлөлт, үүний улмаас биеийн макро төлөвийг илэрхийлэх даралт, эзлэхүүн, температур гэх мэт хэмжигдэхүүн хэрхэн өөрчлөгдөх, холбоо хамаарал, зарим тооцооллыг энэ бүлэгт судална. Бидний эргэн тойронд олон тооны дулааны үзэгдэл болж байдаг. Эдгээрийг судалж загварчлан онолын үүднээс тайлбарлах, юмсын төлөв байдал үзэглийн талаар урьдчилан тодорхойлох чадварт суралцана.

1. ХАТУУ ШИНГЭН ХИЙН ТЭЛЭЛТ
2. ТЕРМОМЕТР
3. ДУЛААНЫ ТООЦООЛОЛ
4. ТӨЛӨВИЙН ӨӨРЧЛӨЛТ

Дулаан ба температур

Биднийг хүрээлэн буй юмс юунаас бүтдэг, тэр нь биеийн шинж чанар болон аливаа үзэгдэл хувиралд хэрхэн нөлөөлөх талаар хүн төрөлхтөн эртнээс сонирхож иржээ. Бие атом хэмээх өчүүхэн жижиг хэсгээс бүтдэг тухай таамаглалыг МЭӨ IV зуунд Демократ, бие цулгуй гэсэн санааг Архимед, цэцгийн тоосыг шингэнд хийж хөдөлгөөнийг судлахад эмх замбараагүй хөдөлж байгаа нь шингэнийг бүрдүүлдэг молекулуудын үй түмэн мөргөлтөөс үүсэхийг Броун, диффузи нь биеийг бүрдүүлэгч молекулууд нь эмх замбараагүй хөдөлгөөнийхөө улмаас нэгнийх нь молекулууд нөгөөгийнхөө молекул хоорондын зайгаар нэвчин аяндаа холилддог болохыг, температур ихсэхэд броуны хөдөлгөөн ба диффузийн эрчим ихэсдэг нь молекулуудын хөдөлгөөний хурд нэмэгддэгтэй холбоотой зэрэг туршлагын баримтыг тайлбарлан онолын загвар, судалгааны шинэ шинэ аргуудыг бүтээсээр өнөөгийн физикийн шинжлэх ухааны молекул физикийн салбар хөгжжээ.



Зураг 1.

Биеийг бүрдүүлэх тоймгүй олон молекул бүрийн хөдөлгөөн, харилцан үйлчлэлийн үр дүнд бий болж байгаа санамсаргүй үзэгдлүүд нийлж макро системд чанарын шинэ хүчин зүйл, эмх цэгцтэй бөөмийн үзэгдэлд хүргэдэг магадлалын онолоор тооцох статистик зүй тогтлыг бий болгодог. Молекул бүрийн хөдөлгөөнийг илэрхийлэх механикийн хууль болон статистик зүй тогтлыг тооцон хослуулан хэрэглэснээр макро системийн туршлагаар тодорхойлж болох хэмжигдэхүүнийг тооцоолон гаргаж болно. Олон бөөмсөөс бүрэлдсэн системд тэнцвэр тогтсоны дараа гадны үйлчлэл байхгүй бол макроскопик хувирал үл үүснэ. Системийн иймэрхүү төлөвийг температур, даралт, нягт гэх мэт тогтмол утгатай хэмжигдэхүүнээр тодорхойлно. Систем тэнцвэр тогтсон үед ч түүнийг бүрдүүлэх молекулууд харилцан үйлчилж, хурдаа болон байрлалаа өөрчилж байдаг. Бид судалж буй зүйлийнхээ шинж чанар болон гүнзгийрлээс хамаарч өмнө судалсан дулааны тоо хэмжээ, хувийн дулаан багтаамж, хайлахын хувийн дулаан, буцлах температурт байгаа шингэний ууршихын хувийн дулаан гэх зэргээс гадна дараах ухагдахуунуудыг тодорхойлон хэмжигдэхүүнүүдээр илэрхийлэн хэрэглэх болно.

- ***<u>Нэг молекулын масс</u>:*** Нэгэн төрөл бодисоос бүтэх биеийн масс нь түүнийг бүрдүүлэх ширхэг молекул тус бүрийн m_0 массын нийлбэртэй тэнцэнэ. Эндээс нэг молекулын масс нь биеийн нийт m массыг молекулын N тоонд харьцуулсан харьцаагаар тодорхойлогдоно.

$$m_0 = \frac{m}{N}$$

- ***<u>Температур</u>:*** Биеийн халалтын зэргийг илэрхийлэх хэмжигдэхүүнийг температур гэнэ.
- ***<u>Молекулуудын дундаж кинетик энерги</u>:*** Биеийг бүрдүүлж байгаа молекулуудын хурд өөр өөр тул молекул тус бүрийн кинетик энерги мөн өөр өөр байна. Молекулуудын кинетик энергийн арифметик дунджийг молекулуудын дундаж кинетик энерги гэнэ.

  Бие нэгэн төрөл бодисоос тогтсон, молекулуудын масс ижил бол нийт кинетик энерги нь молекул тус бүрийн энергийн нийлбэртэй тэнцэнэ.

$$E_{k\,нийт} = \frac{m_0 \cdot \upsilon_1^2}{2} + \frac{m_0 \cdot \upsilon_2^2}{2} + \frac{m_0 \cdot \upsilon_3^2}{2} + \ldots + \frac{m_0 \cdot \upsilon_N^2}{2} = \frac{m_0}{2}\left(\upsilon_1^2 + \upsilon_2^2 + \upsilon_3^2 + \ldots + \upsilon_N^2\right)$$

Хурдны квадратын дундаж утгыг илэрхийлбэл

$$\langle \upsilon^2 \rangle = \frac{\upsilon_1^2 + \upsilon_2^2 + \upsilon_3^2 + \ldots + \upsilon_N^2}{N}$$

Молекулуудын дундаж кинетик энергийг илэрхийлбэл

$$\langle E_k \rangle = \frac{E_{k\,\text{нийт}}}{N} = \frac{m_0}{2} \cdot \frac{\left(\upsilon_1^2 + \upsilon_2^2 + \upsilon_3^2 + \ldots + \upsilon_N^2\right)}{N} = \frac{m_0 \cdot \langle \upsilon^2 \rangle}{2}$$

$$\langle E_k \rangle = \frac{m_0 \cdot \langle \upsilon^2 \rangle}{2}$$

- ***Абсолют тэг температур:*** Биеийн молекулуудын эмх замбараагүй байнгын хөдөлгөөнийг дулааны хөдөлгөөн гэж нэрлэдэг. Молекулуудын дулааны хөдөлгөөн зогсох $\langle \upsilon^2 \rangle = 0$ үеийн температурыг абсолют тэг температур гэнэ.
- ***Абсолют температур:*** Абсолют тэгээс эхлэн тоолох температурыг абсолют температур T -ээр тэмдэглэн Кельвиний температур гэж нэрлэдэг. Кельвиний ба Цельсийн хуваарь нь

$T = t° + 273{,}15$ гэсэн хамааралтай.

Дасгал

1. Биеийн төлөвийг илэрхийлэх хэмжигдэхүүнүүдийг хамаарах байдлаар дараах хүснэгт 1-д гүйцээн бөглөнө үү.

Хүснэгт 1

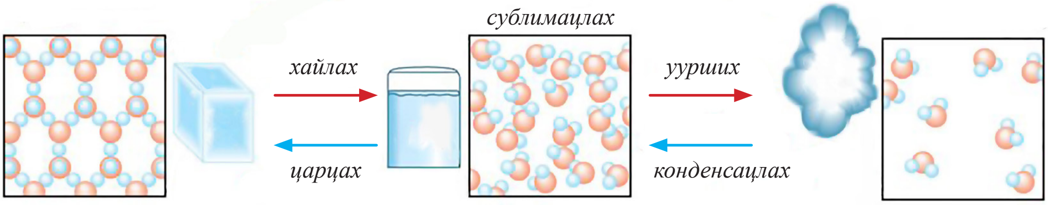
Туршилтаар хэмжиж болох хэмжигдэхүүн	Хамаарал	Молекулуудын шинж чанарыг илэрхийлэх хэмжигдэхүүн
Биеийн масс	$m = N \cdot m_0$	Молекулын масс
Абсолют температур	....	Молекулуудын дундаж кинетик энерги $\langle E_k \rangle = \frac{m_0 \cdot \langle \upsilon^2 \rangle}{2}$
Биеийн нягт	$\rho = \frac{N}{V} \cdot m_0$	....
Хийн даралт	....	....

2. Абсолют тэг температур 0 К нь Цельсийн хэдэн градустай тэнцэх вэ?
3. Абсолют тэг температур хүртлээ бие хөрөх боломжтой юу? Тайлбарлан ярилцаарай.
4. Биеийн дулааны хөдөлгөөн ихсэх үед температур хэрхэн өөрчлөгдөх вэ?
5. Тухайн температурт байгаа биеийн бүх молекулуудын хурд яг ижилхэн үү?
6. Ижил эзлэхүүнтэй мөс ба усны уурын нягт өөр өөр гэдгийг бид мэднэ. Алинд нь усны молекулын тоо олон байгаа вэ? –5°C температурт мөсний нягт $900\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, уурын нягт $3.2\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ байвал молекулуудын тооны харьцааг тооцоол.

1. ТЭЛЭЛТ

Хатуу, шингэн, хийн тэлэлт

Бид 9-р ангидаа бодисын гурван төлөвийн бүтцийг судалсан.



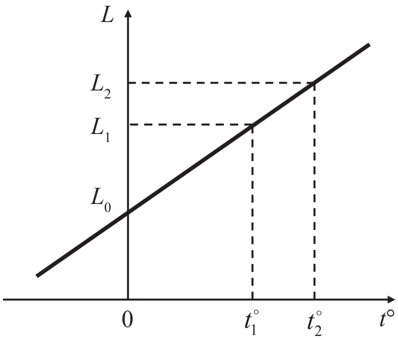
Хатуу төлөвт байгаа биеийн молекулууд нь тодорхой байрлалын орчимд хөдөлнө

Шингэн төлөвт байгаа биеийн молекулууд байраа сэлгэн хөдлөх боломжтой тул урсамтгай

Хий төлөвт байгаа биеийн молекулууд нь эмх цэгцгүй байнгын хөдөлгөөнд оршино.

Зураг 2.

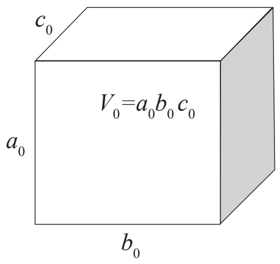
График 1.



Ихэнх бодис халахдаа тэлж хөрөхдөө агшдаг. Бодис бүрийн температураас хамаарч тэлэх чанар харилцан адилгүй байдаг. Энэ шинж чанарыг шугаман хамаарлаар илэрхийлэгдэх завсарт бид судалсан.

Хатуу биеийн урт температураас хамаарах график 1-ийг авч үзье. Энд L_0 нь биеийн 0°C температуртай байх үеийн урт болно.

Жишээ бодлого: График 1-ийг ашиглан бие t_1°-ээс t_2° температур хүртэл халахад түүний урт ямар хэмжээгээр сунахыг тооцоолъё.



Зураг 3.

Биеийн урт температураас хамаарах хамаарал $L=L_0(1+\alpha t^\circ)$
Температур тус бүрд харгалзах уртууд

$$L_1=L_0(1+\alpha t_1^\circ),\quad L_2=L_0(1+\alpha t_2^\circ)$$

Суналтын хэмжээ $\Delta L=L_2-L_1=L_0\alpha(t_2^\circ-t_1^\circ)=L_0\alpha\Delta t^\circ$
α нь шугаман тэлэлтийн коэффицент бөгөөд °C^{-1} нэгжтэй байдаг. Бодис бүрд шугаман тэлэлтийн коэффицент өөр өөр байна. Гэхдээ бие зөвхөн уртынхаа дагуу тэлэхгүй. Бүх чиглэлд тэлнэ.

0°C температуртай үедээ a_0, b_0, c_0- урттай ирмэгтэй параллелепипедийг t° температуртай байх үеийн эзлэхүүнийг олъё.

$$\begin{cases} a = a_0\left(1+\alpha t^\circ\right) \\ b = b_0\left(1+\alpha t^\circ\right) \\ c = c_0\left(1+\alpha t^\circ\right) \end{cases}$$

$$V = abc = a_0b_0c_0\left(1+\alpha t^\circ\right)^3 = V_0\left(1+\alpha t^\circ\right)^3$$

Байгаль дээр ихэнх тохиолдолд шугаман тэлэлтийн коэффицент нь 1-ээс олон дахин бага тоо байдаг. Өөрөөр хэлбэл

$$\alpha t^\circ \ll 1$$

Энэ нөхцөлд

$$\left(1+\alpha t^\circ\right)^3 \approx 1+3\alpha t^\circ = 1+\beta t^\circ$$

Иймд

$$V = V_0\left(1+\beta t^\circ\right),\quad \Delta V = V_0\beta\Delta t^\circ$$

болж байна. Мөн

$$\beta=3\alpha$$

болох бөгөөд β нь эзлэхүүн тэлэлтийн коэффицент юм.

Зарим бодисын шугаман тэлэлтийн коэффицент

Хүснэгт 2

Материал	Шугаман тэлэлтийн коэффицент	
	10^{-6} °C^{-1}	10^{-6} °F^{-1}
ABS термопласт	73.8	41
ABS – шилэн шил	30.4	17
Алмаз	1.1	0.6
Алмаз /техникийн /	1.2	0.67
Хөнгөн цагаан	22.2	12.3
Бетон	14.5	8.0
Хүрэл	18.0	10.0
Вольфрам	4.3	2.4
Германи	6.1	3.4
Боржин	7.9	4.4
Гацуур мод	3.7	2.1
Царс мод тууш	4.9	2.7
Царс мод хөндлөн	5.4	3.0
Нарс мод	5	2.8
Төмөр, цэвэр	12.0	6.7
Алт	14.2	8.2
Шохойн чулуу	8	4.4
Төмөр никелийн хайлш	1.5	0.8

Кали	83	46.1 - 46.4
Кальци	22.3	12.4
Тоосго	4.7 - 9.0	2.6 - 5.0
Хатуу резин	77	42.8
Кварц	0.77 - 1.4	0.43 - 0.79
Шаазан плита \хавтан\	5.9	3.3
Мөс	51	28.3
Магни	25	14
Марганец	22	12.3
Зэс никелийн хайлш 30%	16.2	9
Зэс	16.6	9.3
Молибден	5	2.8
Гантиг	5.5 - 14.1	3.1 - 7.9
Натрий	70	39.1
Нейлон, универсал	72	40
Никель	13.0	7.2
Элсэн чулуу	11.6	6.5
Хар тугалга	28.0	15.1
Мөнгө	19.5	10.7
Ган	13.0	7.3
Барилгын шохойн зуурмаг	7.3 - 13.5	4.1-7.5
Уран	13.9	7.7
Цемент	10.0	6.0
Цайр	29.7	16.5
Циркон	5.7	3.2
Хув	76.6	42.8

Дасгал

1. Хүснэгт 2-оос зэсийн шугаман тэлэлтийн коэффицентийн утгыг бичнэ үү.
2. Шугаман тэлэлтийн коэффицентийн утга яагаад хоёр өөрөөр тэмдэглэгдсэн бэ?
3. Улайсагч чийдэнгийн вольфрам утас халуун үедээ амархан тасардгийн учир юу вэ?
4. Яагаад байшин барихад элс цементийг зуурмагт хэрэглэдэг вэ?
5. Цементэн замын дөрвөлжнүүдийн хоорондох зайг ямар хэмжээтэй хийх хэрэгтэй вэ? Урт өргөнийг хэмжиж тооц.
6. Шаазан плитаг цементэн зуурмагаар хананд нааж болох уу? Тайлбарлана уу.
7. Барилга болон амьдрал ахуйд эзлэхүүн тэлэлтийг тооцох жишээг гарган илтгэл бэлтгээрэй.
8. Зураг 5-ыг тайлбарлана уу.
9. Циркон шигтгээтэй алтан бөгжний шигтгээ удаан жил эдлэхэд сулардгийн учрыг тайлбарлана уу.

Зураг 4.

Зураг 5.

Зураг 6.

Гал тогоонд халуун тогоо, будаа агшаагч, ус буцалгагч гэх мэт зүйлс дээр хамгийн ихдээ хийж болох шингэний хэмжээг заасан байдаг. Эдгээрт ус болон хоол тасалгааны температураас 92°C-98°C хүртэл, битүү чанагчид түүнээс ч илүү температур 350°C хүртэл халдаг. Төмөрлөгийн үйлдвэрт металлуудыг хайлуулж шингэн төлөвт хэвлэж цутгадаг. Металлуудын хайлах температур харилцан адилгүй мянга болон түүнээс ч их цельсийн температураар илэрхийлэгддэг. Үүнтэй холбоотой шингэн зүйлсийг хадгалах болон агуулах саванд эзлэхүүн тэлэлтийг тооцох хэрэгцээ заавал үүсдэг.

Шингэний эзлэхүүн тэлэлтийн коэффицент

Хүснэгт 3

Шингэн	10^{-5} °C^{-1}
Анилин	85
Хоолны давсны 26%-ийн уусмал NaCl	44
Бензин	125
Хүхрийн хүчил	57
Бензол	124
Хүхэрт нүүрстөрөгч уусгагч	121
Глицерин	53
Керосин	100
Амилийн спирт	93
Этилийн спирт	110
Метилийн спирт	122
Оливийн тос	70
Парафин	90
Толуол уусгагч	109
Цууны хүчил	107
$CaC1_2$-ийн 6%-ийн усан уусмал	25
$CaC1_2$-ийн 41%-ийн усан уусмал	46
Диэтилийн эфир	163

Дасгал

1. Бензин зөөдөг машин 10 тн ба 10 тн, 9 тн ба 9 тн, 6 тн 6 тн 6 тн-ийн тасалгаануудтай. Тасалгаа бүрийг дундуур дүүргэдэг. Зөөвөрлөх үед өдөртөө 30°C, шөнөдөө 10°C хүртэл халж хөрдөг. Бензиний дээд талд үлдээдэг зайн хэмжээг хүснэгт 3-ыг хэрэглэн зөөвөрлөгч машин бүрээр тооцоол.
2. Алтны шугаман тэлэлтийн коэффицентийг хэрэглэн эзлэхүүн тэлэлтийн коэффицентийг олж, бензинийхтэй харьцуулаарай.
3. Модон ба хуванцар аягыг мөнгөлөх үед аль нь эдэлгээ удаантай болохыг тооцоолол дээрээ үндэслэн тайлбарла.
4. Хатуу, шингэн, хийн эзлэхүүн тэлэлтийн коэффицентийг хэр зөрөөтэй болохыг харьцуулаарай.
5. Шингэний дулааны тэлэлтийг ажиглах үед шилэн савны эзлэхүүний өөрчлөлтөөс үүсэх нөлөөг арилгахын тулд саванд тусгай хайлш цуг хийж халаадаг. Хайлш ба шилний эзлэхүүн тэлэлтийн коэффицентүүд $\beta=8\cdot10^{-5}K^{-1}$ ба $\beta_0=3\cdot10^{-5}K^{-1}$ байна. Шилэн савны ямар хэсгийг хайлшаар дүүргэвэл савны дулаан тэлэлтийг бүрэн саармагжуулах вэ?

Бодолт Нэгэн сурагчийн 5-р бодлогын бодолтыг танилцуулъя.

Шил ба хайлшны

t_1° температуртай байх үеийн эзлэхүүн $V_ш$, $V_{хай}$

t_2° температуртай байх үеийн эзлэхүүн $V'_ш$, $V'_{хай}$

$$\begin{cases} V_ш = V_0\left(1+\beta_0 t_1^\circ\right) \\ V_{хай} = V_{0хай}\left(1+\beta t_1^\circ\right) \end{cases} \quad \text{Халаахад:} \quad \begin{matrix} V'_ш = V_0\left(1+\beta_0 t_2^\circ\right) \\ V'_{хай} = V_{0хай}\left(1+\beta t_2^\circ\right) \end{matrix}$$

Хайлш ба шил нь тэлэхэд эзлэхүүний тэлэлтээс болж нөлөө үүсэхгүйн тулд тэдгээрийн эзлэхүүний өөрчлөлтүүд ижил байх ёстой.

$$V'_ш - V_ш = V'_{хай} - V_{хай}$$

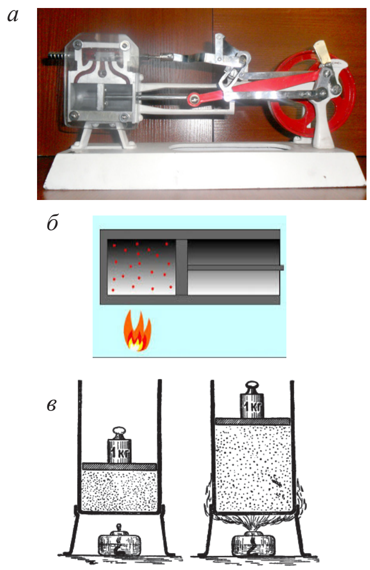
Үүнд нөхцөлөө орлуулбал

$$V_0\left(1+\beta_0 t_2^\circ\right) - V_0\left(1+\beta_0 t_1^\circ\right) = V_{0хай}\left(1+\beta t_2^\circ\right) - V_{0хай}\left(1+\beta t_1^\circ\right)$$

$$V_0\beta_0\left(t_2^\circ - t_1^\circ\right) = V_{0хай}\beta\left(t_2^\circ - t_1^\circ\right)$$

$$\frac{V_0}{V_{0хай}} = \frac{\beta}{\beta_0} = \frac{3\cdot10^{-5}K^{-1}}{8\cdot10^{-5}K^{-1}} = \frac{3}{8}$$

Хариу. Шилэн савны $\frac{3}{8}$-д хайлш хийнэ.

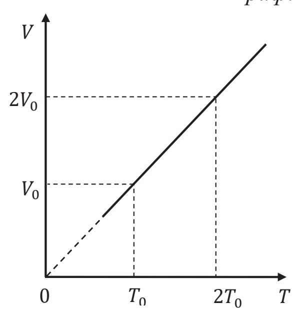


Зураг 7.

Уурын хөдөлгүүрийг (Зураг 7а) зохион бүтээж амьдралд энэ ололт нэвтрэх болсон цагаас техникийн үсрэнгүй хөгжил эхэлсэн. Хөдөлгүүрийн гол хөдөлгөгч нь хий байлаа. Үүнд бүлүүр бүхий цилиндрт усны уур орж халахаараа тэлэх процессыг хэрэглэсэн. Цилиндрийн гадна талаас агаар дарж байх үед тэлэх ба агших процесс болно (Зураг 7б). Бидний эргэн тойрон дахь агаарын даралт нь бараг тогтмол байдаг. Тэгвэл физикт өдөр тутмын амьдралд тохиолдох хий тэлэх процессыг тогтмол даралттайгаар хий тэлэх агших процесс гэж загварчлан тооцоо хийж, үзэгдлийг тайлбарладаг.

Тогтмол даралтад явагдах (изобар) процесс: Хийн даралтыг тогтмол барих хамгийн хялбар арга бол босоо саванд хий хийж бүлүүрээр таглан дээр нь туухай тавьж бүлүүрийг бэхлэхгүй сул орхих явдал юм (Зураг 7в). Бүлүүрийн дээрээс дарах хүч нь, түүнд хийн зүгээс дээш үйлчлэх PS даралтын хүчтэй тэнцэж, бүлүүр тэнцвэрт орно. Процессын үед энэ нөхцөл өөрчлөгдөхгүй учир процесс **изобар** байх болно. Халаахад хий тэлж, бүлүүр дээш өргөгдөж даралт хэвээр үлдэнэ.

График 2.



Хийн эзлэхүүн абсолют температураас хамаарах хамаарлын график

Энэ туршлагаас үзэхэд хийн даралт тогтмол үед хийн эзлэхүүн температураас **шугаман** хамаарч байна (График 2).

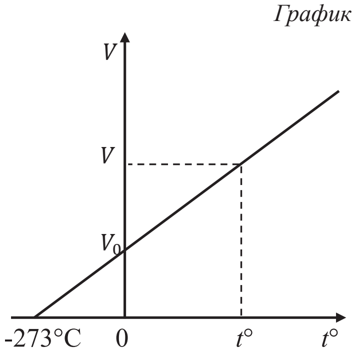
Даралт тогтмол үед хийн эзлэхүүн температураас хамаарсан хамаарлын график нь **координатын эхийг дайрсан шулуун** байна.

$$P\text{=const үед } V \sim T \rightarrow \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Харин даралт их байвал **шулуун өнцгийн коэффицент бага** байна.

Үүнийг **Гей-Люссакийн** хууль гэнэ.

График 3.



Хийн эзлэхүүн Цельсийн температураас хамаарах хамаарлын график

График 3-аас шулууны өнцгийн коэффицент

$$k = \frac{V_0}{273} = \frac{V}{t^{\circ} + 273}$$

Хийн эзлэхүүн температураас хамаарах хамаарал

$$V = V_0\left(1 + \frac{1}{273}t^{\circ}\right)$$

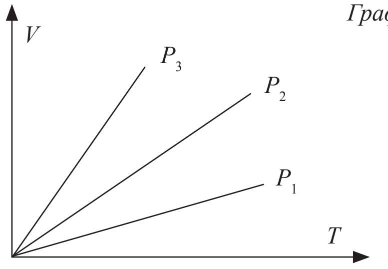
болно. График 3-аас хийн хувьд эзлэхүүн тэлэлтийн коэффицент

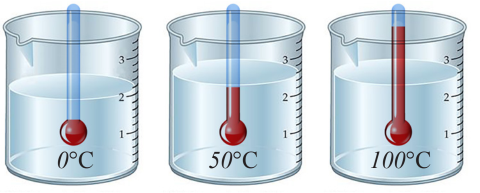
$$\beta = \frac{1}{273}\text{град}^{-1} \text{ байна.}$$

Дасгал

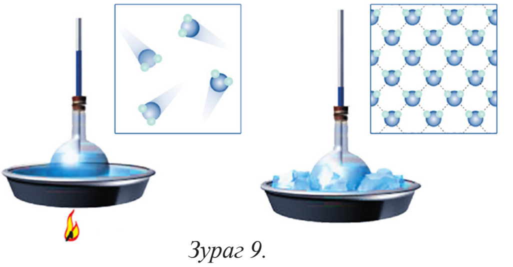
1. Битүү чанагчийн уурыг гаргалгүйгээр онгойлгоход бууддагийн учрыг тайлбарлана уу.
2. График 4-д ямар процессыг дүрсэлсэн бэ? Аль нь их даралттай процесс вэ?
3. 0°С температурт 0.5 $м^3$ эзлэхүүнтэй хий 100°С температурт ямар эзлэхүүнтэй болох вэ?
4. 0°С температурт 0.5 $м^3$ эзлэхүүнтэй хий, метилийн спирт, гацуур мод 50°С хүртэл халахад нэмэгдэх эзлэхүүнүүдийг тооцоолж, харьцуулна уу.
5. Хатуу, шингэн, хийн эзлэхүүн тэлэх агших процессыг бөөмсийн харилцан үйлчлэлээр тайлбарлана уу
6. Зураг 8-д харуулсан шингэний аль нь 0°С температурт хамгийн их эзлэхүүнтэй байсан бэ? (Зураг 8).
7. Зураг 9-ийг ажиглан тайлбар хийнэ үү .
8. Хатуу, шингэн, хийн эзлэхүүн тэлэх явцыг бөөмөн загварын үүднээс тайлбарлаж, эзлэхүүн тэлэлтийн коэффицентуудыг жишнэ үү.

График 4.





Зураг 8.



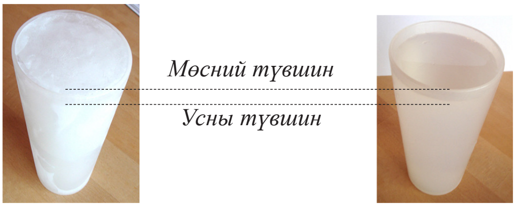
Зураг 9.

Туршилт

Ус хөлдөхдөө эзлэхүүн өөрчлөгдөхийг судлах

Хэрэглэх зүйлс:

- Ижилхэн хоёр сав
- Дэнс
- Хөлдөөгч
- Мензурк
- Ус
- Өөхөн тос



Зураг 10.

Гүйцэтгэх дараалал

- Ижил хоёр савандаа ижил масстай өөрөөр хэлбэл ижил эзлэхүүнтэй ус хийнэ.
- Нэг савтай усаа хөлдөөгчид хийнэ.
- Ус бүрэн мөс болсон үед саваа дүүртэл нэмж ус хийнэ.
- Нөгөө хөлдөөгүй усан дээрээ савыг нь дүүртэл нэмж ус хийнэ.
- Нэмсэн усыг хүснэгтэд тэмдэглэж эзлэхүүний өөрчлөлтүүдийг тодорхойлно уу.

Хүснэгт 4

	Усны эзлэхүүн	Нэмсэн эзлэхүүн	Эзлэхүүний өөрчлөлт	Нягт
Хөлдөөх савтай				
Хөлдөөгүй савтай				

Үр дүн: Ус хөлдөхөөрөө тэлж байна. Эзлэхүүн ихсэн нягт нь багасна.

Туршилт Бүх бодис шингэн төлөвөөс хатуу төлөвт шилжихэд тэлдэг үү? Өмнөх туршилтыг тос хэрэглэн гүйцэтгээрэй.

Хүснэгт 5.

	Шингэн төлөвийн эзлэхүүн	Хатуу төлөвийн эзлэхүүн	Эзлэхүүний өөрчлөлт
Өөхөн тос			
...			

Үр дүн: Ихэнх шингэн царцахаараа агшдаг. Эзлэхүүн багасч нягт ихэснэ.

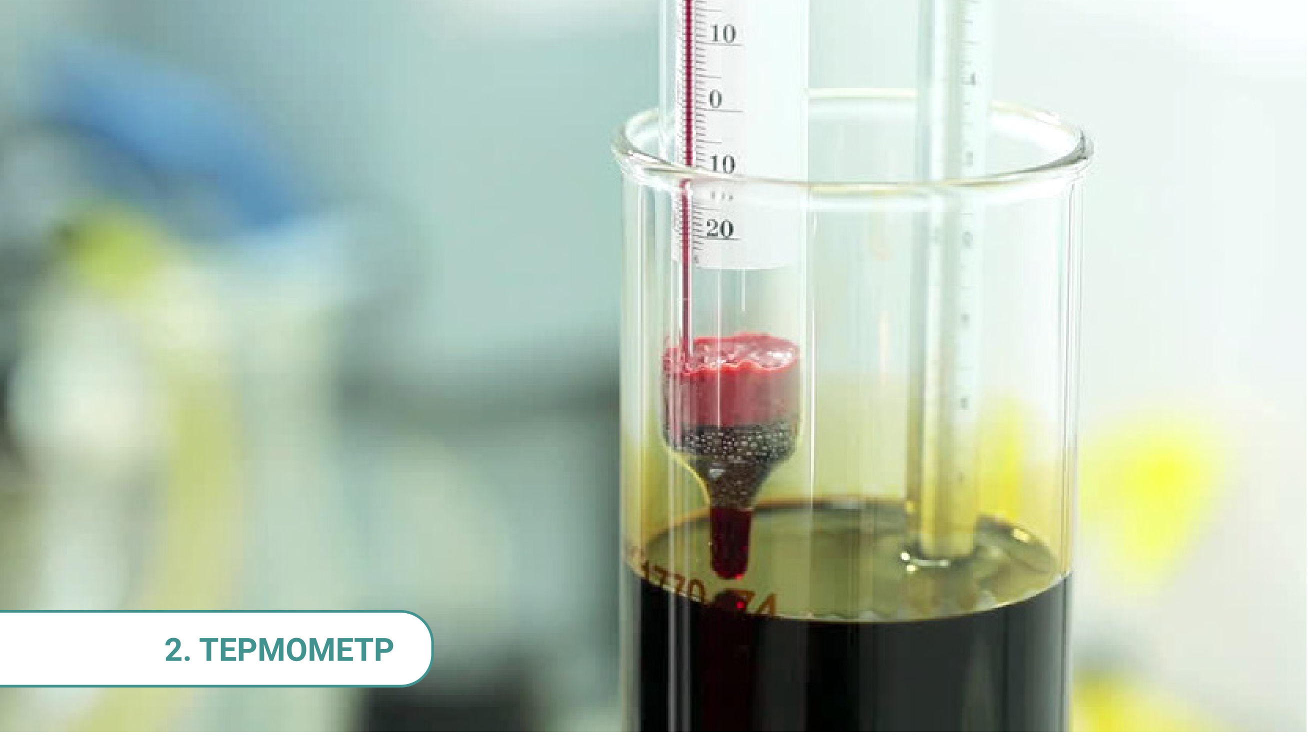
Дасгал

1. Мөнгөн бүрээстэй модон аяганд халуун цай хийвэл мөнгө ба модны аль нь илүү тэлэх вэ?
   а. Мод б. Мөнгө в. Ижил г. Огт тэлэхгүй
2. Индүү болон бусад гэр ахуйн цахилгаан хэрэгсэлд байдаг температур тохируулагчийг нэрлээрэй.
   а. Унтраалга б. Тохируулагч в. Чийдэн г. Биметалл ялтас
3. 100 см^3 эзлэхүүнтэй хөнгөн цагааныг 50°С-аар халаахад түүний эзлэхүүн ба бөөмсийн хоорондох зай хэрхэн өөрчлөгдөх вэ?
   а. 3.6 см^3, ихэснэ б. 0.036 см^3, багасна в. 0.36 см^3, ихэснэ г. 36000 см^3, хэвээрээ
4. 0°С температурт 20 м урттай байсан төмөр 40°С температурт ямар урттай болох вэ? Бөөмсийн хурд хэрхэн өөрчлөгдөх вэ?
   а. 20 м, хамааралгүй б. 20.96 м, багасна в. 20.9 м, хэвээрээ г. 20.0096 м, нэмэгдэнэ
5. Ус буцалгагчид яагаад зааг тавьсан тэмдэглэгээ хийдэг вэ?
   а. Шугаман тэлэлтээс болж б. Шингэний эзлэхүүн тэлэлтээс болж
   в. Хийн тэлэлтээс болж г. Төлөв өөрчлөгдөж тэлснээс
6. Хатуу биеийн хувьд эзлэхүүн тэлэлтийн коэффицент нь ямар байх вэ?
   а. $\beta=3/\alpha$ б. $\beta=\alpha$ в. $\beta=\alpha/3$ г. $\beta=3\alpha$
7. 0.3 м^2 талбайтай төмрийг 20°С-ээс 600°С хүртэл халаахад талбай нь яаж өөрчлөгдөх вэ?
8. 0°С температуртай 17.8 кг масстай зэс бөмбөрцгийг халаахад эзлэхүүн нь 10.3 см^3 болжээ. Түүнийг халаахад ямар дулаан зарцуулагдсан бэ? Зэсийн нягтыг лавлахаас харна уу.
9. Машины хөдөлгүүрийн цилиндрт хий шатаж тэлдэг. Хөдөлгүүрийн аль нэг хавхлаг нээгдээгүй үед цилиндр дотор явагдаж байгаа процессыг юу гэж загварчилж болох вэ? Энэ үед цилиндр дотор ямар хэмжигдэхүүн өөрчлөгдөхгүй байх вэ? Эдгээрийг хүснэгт 6-д тэмдэглэнэ үү.

Хүснэгт 6.

№	Хэмжигдэхүүний нэр	Өөрчлөгдөнө	Өөрчлөгдөхгүй
1	Даралт		
2	Эзлэхүүн		
3	Нягт		
4	Масс		
5	Температур		

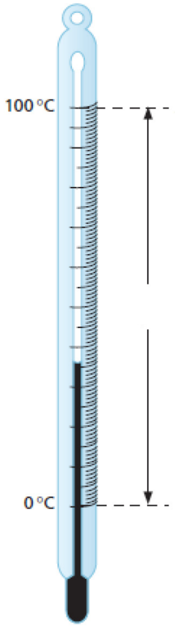
10. Дулаан цацаргалтыг шалгах багажийг манометртэй холбож дулаан шингээлтийг судалдаг. Энд болох процессыг тайлбарлана уу.



2. ТЕРМОМЕТР

Биеийн температурыг термометрээр хэмждэг. Температурын өөрчлөлтөөс хамаарч биеийн эзлэхүүн эсвэл цахилгаан эсэргүүцэл гэх мэт өөрчлөгдөх шинж чанарыг ашиглан термометрийг зохион бүтээдэг. Хэмжилтийн явцад тухайн шинж чанар ба температурын хамаарал тодорхой байх хэрэгтэй. Жишээлбэл: шингэнт термометрээр биеийн температурыг хэмжих үед термометрийн шингэн буцлахгүй, царцахгүй байх хэрэгтэй.

Шингэнт термометр



Зураг 11.

Термометр төрлөөсөө хамаарч ажиллах зарчим нь өөр өөр байдаг. Шингэнт болон хийн термометрийг бие халахаараа тэлэх шинж чанарыг хэрэглэж бүтээсэн. Шилэн термометрийн хэмжилтийн явцад шилэн булцуун дахь шингэн халж тэлэн, тэлсэн шингэн нарийн гуурсаар дээшилж харагдана. Мөнгөн ус ба өнгөт спиртийг шингэнт термометрт өргөн хэрэглэдэг. Мөнгөн уст термометр –39°С-ээс 357°С хүртэл хэмжих боломжтой. Мөнгөн ус, шил хоёр бараг нордоггүй, урвалд ордоггүйгээс гадна мөнгөн усны эзлэхүүн тэлэлтийн коэффицент $0.18 \cdot 10^{-3}\dfrac{1}{\text{K}}$ утгатай ба бараг өөрчлөгддөггүй, 200°С хүртэл шугаман хамааралтайгаар тэлдэг нь туршилтаар нотлогдсон. Харин спиртэн термометр –115°С-ээс 78°С-ийн хооронд хэмжих боломжтой. Спиртийн эзлэхүүн тэлэлтийн коэффицент нь мөнгөн усныхаас 6-9 дахин их боловч шил амархан нордог тул хэмжилтийг хурдан хийх үед оновчтой болдоггүй. Термометрийг юунд хэрэглэхээс хамаарч хэмжих боломж харилцан адилгүй хийгдсэн байдаг. Шилэн шингэнт термометрээр хэмжилт хийх явцад шил халснаас тэлнэ. Түүн дотор шингэн тэлнэ. Хэрэв шил тэлснээс түүний дотор зай шингэний тэлсэн эзлэхүүнтэй ойролцоо байвал бидэнд ажиглагдахуйц өөрчлөлт анзаарагдахгүй. Шилний шугаман тэлэлтийн коэффицент $9 \cdot 10^{-6}\dfrac{1}{\text{K}}$, хэрэв эзлэхүүн тэлэлтийн коэффицент нь $\beta = 3\alpha$ гэдгээр тооцвол мөнгөн

усныхаас олон дахин бага байна. Иймд термометрээр хэмжилт хийх явцад шилийг бараг тэлэхгүй гэж үзээд түүн доторх шингэн ба өндрийн хамаарлыг ойролцоолон тооцоо хийж үзье.

t_1° температурт V_1 эзлэхүүнтэй байсан шингэн t_2° температурт V_2 эзлэхүүнтэй болсон ба шилэн гуурсны хөндлөн огтлолын талбай S, гуурсан дахь шингэний өндөр харгалзан h_1, h_2 гэе. V_0 нь тус шингэний 0°C температуртай байх үеийн эзлэхүүн.

$$V_1=V_0\,(1+\beta\, t_1^\circ)$$
$$V_2=V_0\,(1+\beta\, t_2^\circ)$$

Шилэн гуурсны дотор талбай ба гуурсан дахь шингэний өндрөөр эзлэхүүнийг илэрхийлбэл:

$$V_1=S{\cdot}h_1$$
$$V_2=S{\cdot}h_2$$

Эзлэхүүний өөрчлөлтийг олъё.

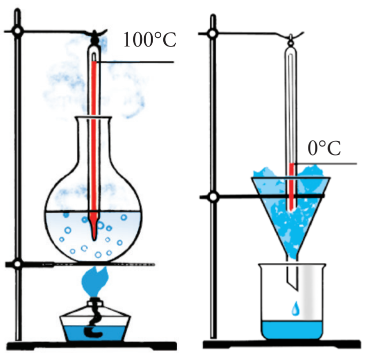
$$\Delta V=V_2-V_1=V_0\;\beta(t_2^\circ-t_1^\circ)=V_0\;\beta\Delta t^\circ$$
$$\Delta V=V_2-V_1=S{\cdot}(h_2-h_1)=S{\cdot}\Delta h$$

Эдгээрээс $V_0\beta\Delta t^\circ=S{\cdot}\Delta h$ ба температурын өөрчлөлт $\Delta t^\circ=\frac{S}{V_0\,\beta}\cdot\Delta h$. Эндээс үзэхэд термометрийн гуурсан дахь шингэний өндөр температураас шугаман хамаарна.

Дасгал Халууны шилээр хэмжилт хийхэд $\Delta t^\circ=k{\cdot}\Delta h$ хамаарлыг хэрэглэдэг бол шугам хэрэглэн k коэффицентийг олоорой.

Термометрийн хуваарь зохиох

Термометрийг биетэй шүргэлцүүлэхэд дулааны тэнцвэр тогтож температур нь биетэй ижил болох үед хэмжилтийн утгыг авдгийг бид мэднэ. Термометр зохиохдоо хяналтын хоёр утгыг тэмдэглэн эзлэхүүний зөрүүнд харгалзах уртыг хуваан хуваарь зохионо. Хяналтын утга нь термометрийн ажлын биеийн төлөв өөрчлөгдөх утгын завсарт байх шаардлагатай. Жишээлбэл шингэнт термометрийн хувьд царцах температураас их, буцлах температураас бага байх хэрэгтэй (Зураг 12).



Зураг 12.

Туршилт Шингэнт термометр хийцгээе.

Хэрэглэх зүйлс:

- Спирт
- Шилэн гуурс
- Хатуу цаас
- Үзэг
- Шугам
- Термометр

Багажаа угсарч хяналтын утгыг сонгоно. Тасалгааны температур 20°C, биеийн 35°C температурыг хяналтын цэг болгон тэмдэглээд тэнцүү хуваан хуваарь гаргана. Өөрийн хийсэн термометрийг хэрэглэн дараах хүснэгтийг бөглөөрэй.

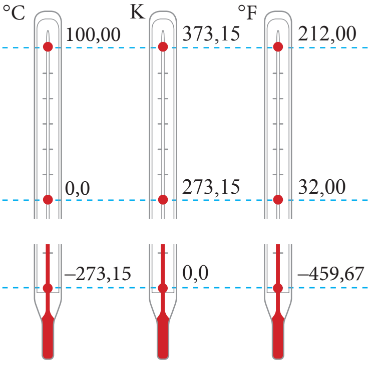
Хүснэгт 7.

Хэмжих боломжтой хамгийн их утга	
Хэмжих боломжтой хамгийн бага утга	
Хяналтын утгуудын хоорондох өндрийн ялгаа	
Хуваарийн шугамын тоо	
Хуваарийн үнэ	

Температурын хуваарь

1968 онд техникт температурын Цельсийн хуваарийг хэрэглэх болсон. Ус хөлдөх үеийн температурыг 0°C, буцлах үеийн температурыг 100°C гээд 100 тэнцүү хувааж нэг градус гэсэн нэгжтэй температурын хуваарийг зохиосон. Байгалийн шинжлэх ухаанд Кельвиний хуваарийг хэрэглэдэг. Кельвин ба Цельсийн температурын нэгж нь тэнцүү утгатай байдаг. Зарим улс орон Фарангейтийн хуваарийг хэрэглэдэг. Цельс, Кельвин, Фарангейтийн хуваарь дараах хамааралтай.

$$T = t° + 273.15$$
$$t_F = 1.8t° + 32.5$$



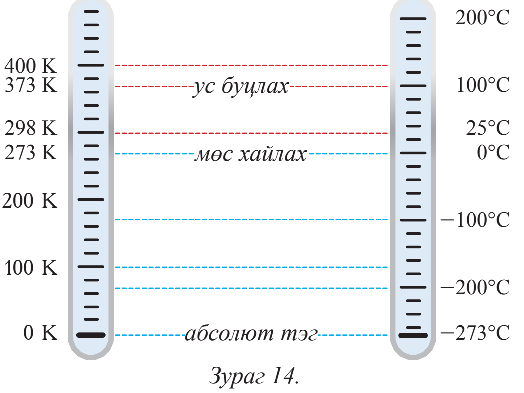
Зураг 13.

Дасгал

1. 0°C-ийг Кельвин болон Фарангейтийн хуваариар илэрхийлнэ үү.
2. 0 K-ийг Цельс болон Фарангейтийн хуваариар илэрхийлнэ үү.
3. 0°F-ийг Кельвин болон Цельсийн хуваариар илэрхийлнэ үү.
4. Хүснэгт 8-г бөглөнө үү.
5. 70°F-ийн утгыг цельсийн хуваариар илэрхийлнэ үү. Бодлогыг бодохдоо $t° = \frac{5}{9}(t_F - 32°)$ томьёог хэрэглэж болно.
6. 212°F-ийн утгыг Кельвиний хуваариар илэрхийлнэ үү. Бодлогыг бодохдоо $T = \frac{9}{5}(t_F + 459.67)$ томьёог хэрэглэж болно.
7. Зураг 14-ийг хэрэглэн хуваарийн үнийг ол. Зурагт үзүүлсэн абсолют тэг ба ус хөлдөх, буцлах температурын харгалзах утгыг тэмдэглэсэн. Үлдсэн утгуудыг нөхөн харгалзааг гүйцээнэ үү.

Хүснэгт 8.

Үйл	$t°$	T	t_F
Дулааны хөдөлгөөн зогсох		0 K	
Ус хөлдөх			32°F
Тасалгааны температур	20°C		
Ус буцлах		373 K	
....			



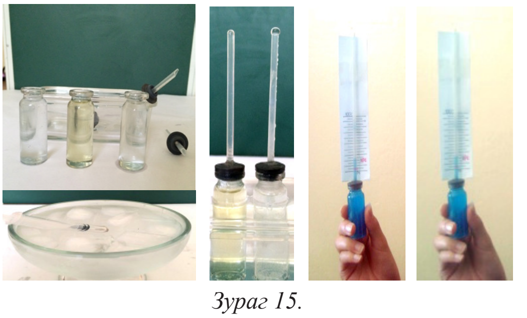
Зураг 14.

Туршилт

Шингэнт термометрийн хэмжих хязгаарыг өөрчлөх

Хэрэглэх зүйл:

- Шил сав 2 ш
- Шилэн урт гуурс 2 ш
- Хуваарь хийх дэлгэц 2 ш
- 1 удаагийн тариур
- Хоёр өөр төрлийн шингэн (оливын тосны $\beta = 0.1 \cdot 10^{-3} \frac{1}{K}$, спирт $\beta \approx 1 \cdot 10^{-3} \frac{1}{K}$)
- Савтай халуун, хүйтэн ус



Зураг 15.

Ажил гүйцэтгэх дараалал:

1. Тасалгааны температурт байгаа 2 шингэнийг шилэн савнуудад дүүргээд нэг үзүүрт нь битүү гуурс суулгасан тагаар хий оруулахгүй таглан, дэлгэц дээр анхны гуурсан дахь шингэний өндрийг тэмдэглэнэ.
2. Хийсэн бэлдцүүдийг өөр өөр температуртай халуун усанд ээлжлэн суулгаж гуурсны дээд цэгт хамгийн ихдээ хэчнээн хэмийг хэмжиж болохыг тэмдэглэнэ.

Үр дүн: Тухайн термометрийн шингэнийг өөрчлөхөд хэмжих хязгаар өөрчлөгдөж байна. Эзлэхүүн тэлэлтийн коэффицент их бол температурыг бага завсарт хэмжинэ.

Хүснэгт 9.

h, см	$t^\circ_{тос}$, °C	$t^\circ_{спирт}$, °C
1 см		
2 см		
4 см		
6 см		
8 см		
10 см		

Дасгал

1. Хэрвээ термометрийн булцуун дахь шингэний анхны эзлэхүүнийг 2 дахин ихэсгэвэл өндрийн зөрөө хэд дахин ихсэх вэ? Энэ үед хэмжилтийн нарийвчлал хэрхэн өөрчлөгдөхийг $\Delta t^\circ = \dfrac{S}{V_0\,\beta}\cdot\Delta h$ ашиглан тайлбарлана уу.
2. Шингэнт термометрийн шилэн гуурсны хөндлөн огтлолын талбайг багасгавал нарийвчлал хэрхэн өөрчлөгдөх вэ?
3. Шингэнт термометрийн хэмжих хязгаар, нарийвчлалын тухай хүснэгт 9-ийг гүйцээнэ үү.

Хүснэгт 10.

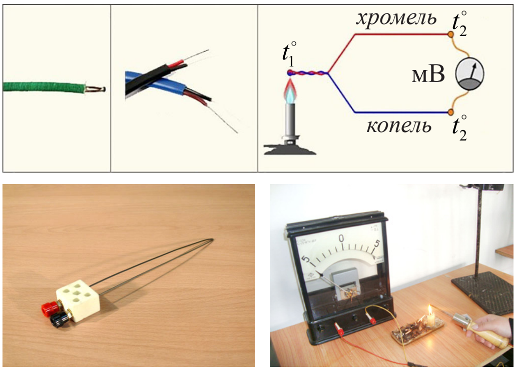
Өөрчлөлт	Хэмжих хязгаар	Нарийвчлал
Гуурсны өндөр хангалттай үед булцууны шингэнийг ихэсгэх	Өөрчлөгдөхгүй	ихэснэ
Гуурсны өндрийг ихэсгэх	Ихэснэ	өөрчлөгдөхгүй
Гуурсны талбайг ихэсгэх	....	багасна
Булцууны шингэнийг эзлэхүүн тэлэлтийн коэффицент ихтэй шингэнээр солих	....	....

4. Спиртэн термометр мөнгөн уст термометрийн аль нь их температурыг хэмжих боломжтой вэ? Хариултаа буцлах температуртай холбон тайлбарлана уу.
5. Спиртэн термометр мөнгөн уст термометрийн аль нь бага температурыг хэмжих боломжтой вэ? Хариултаа хайлах температуртай холбон тайлбарлана уу.
6. 46-р хуудасны сурагчийн 5-р бодлогын бодолтыг шингэн термометрт хэрхэн хэрэглэх тухай судалгаа хийж илтгэл хэлэлцүүлээрэй (Зураг 16).

Зураг 16.

Төрөл бүрийн термометр

Шингэнт термометр нь хайлах температураас буцлах температур хүртэл хэмжих боломжтой. Амьдралд хэмжих хязгаар ба хэмжилтийн нарийвчлалыг өсгөх хэрэгцээ тулгарч термохос, терморезисторыг хэрэглэсэн термометрийг зохиож хэрэглэж ирлээ.



Зураг 17.

Термохос

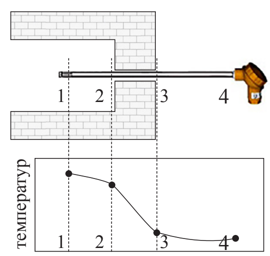
Металлын дотор орших валентын бүсийн электронууд нь атомын цөмтэйгөө цахилгаан соронзон харилцан үйлчлэлээр сул холбогдсон байна. Валентын электроныг бараг чөлөөт гэж үзэж болох ба нэг атомаас нөгөө атом руу хялбархан шилжих боломжтой. Эдгээр электроныг дамжууллын электрон гэж нэрлэдэг. Гадны харилцан үйлчлэл байхгүй үед системд тэнцвэр тогтсон байдаг. Тэнцвэр тогтсон системийн чөлөөт электронуудын дундаж хурд тэг байх ба харин электрон бүр нь температураас хамаарсан тодорхой энерги хурдтай байна. Дамжуулагч утасны дагуух температурыг өөрчлөхөд системийн тэнцвэр алдагдаж, электронуудын дундаж хурд тэгээс ялгаатай болж, хурдны вектор нь их температуртай хэсгээс бага температуртай хэсэг рүү чиглэнэ. Электронууд нь цэнэг зөөгч тул цахилгаан гүйдэл үүснэ. Хэрэв хэлхээ битүү байвал саатуулах цахилгаан орон хангалттай үүсэхэд цэнэг хүйтэн хэсэгт хуримтлагдаагүй бол хэлхээгээр гүйдэл гүйнэ. Цаашид цэнэг хуримтлагдахад энэ орон нь температураас хамаарсан электронуудын дундаж хурдад эсрэгээр нөлөөлнө. Дахин шинээр тэнцвэр тогтоход хэлхээгээр цахилгаан гүйдэл гүйхгүй (Зураг 17).

Термохос нь:

- температурыг өргөн завсарт хэмждэг
- дулааны инерц бага тул богино хугацаанд хэмждэг
- төрөл бүрийн нөхцөлд хэрэглэх боломжтой
- бага материал хэрэглэдэг
- өндөр даралт тэсвэрлэдэг
- дулаан мэдрэгч болгон хэрэглэхэд тохиромжтой гэх мэт давуу талтай.

Дасгал

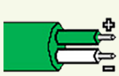
1. 500 мм ба түүнээс урт термохосыг богино долгионы зууханд хэрэглэдэг. Богино долгионы зуух дотор температур нь бараг ижил байх хэсэгт зурагт үзүүлснээр хоёр өөр металлыг гагнасан үзүүр хэсгийг 250-300 мм-т байрлуулдаг. Яагаад хэмжигчийн зарим хэсэг гадна талд байрладаг вэ?



Зураг 18.

2. Термохос нь термоэлектрод болгон хэрэглэж байгаа металлаас хамаарч хэмжих температур нь өөр өөр байдаг. Түүний техникийн зарим үзүүлэлтийг хүснэгтэд үзүүлэв. Мэдээллийн эх сурвалжийг хэрэглэн хүснэгт 11-ийг гүйцээнэ үү.

Хүснэгт 11.

Зураг	Хэмжих завсар	Өнгө	Үндсэн бүтэц
	–200°C 1370°C	+ ногоон – цагаан	Хром Хөнгөн цагаан

3. Кабелин термохосын төрлийг хүснэгт 12-оор үзүүлэв. Богино долгионы зууханд хэрэглэдэг, цахилгаан термометр аль төрлийнх вэ?
4. Термохосыг ягаад бүрээстэй хийдэг вэ?
5. 0.85 мм диаметр бүхий электродтой, 4 мм диаметртэй термопар нь 425°C±10°C температурт 10000 цаг ажиллахад хэмжилтийн утга 0.5°C-ээр багаар зөрдөг. Аль төрөл вэ?
6. Термохосыг гал тогоонд температур мэдрэгч болгон хэрэглэх жишээг техникийн үзүүлэлтээр тайлбарла.

Хүснэгт 12.

Хэмжих завсар,	Төрөл
$t° < 0°C$	T
Тасалгааны температур	K, T
$t° < 300°C$	K
$300°C < t° < 600°C$	N
$600°C < t°$	K, N

Эсэргүүцлэн термометрийн ажиллах зарчмыг судлах

Эсэргүүцлэн термометр нь өнөө үед ахуйд өргөн хэрэглэгддэг. Терморезисторыг цахилгаан эсэргүүцэл температураас хамаарах хамаарлыг хэрэглэн 1930-аад онд зохион бүтээжээ. Хоёр төрлийн терморезистор байдаг. Хагас дамжуулагчийн эсэргүүцэл температураас хамаарч буурах ба зарим дамжуулагчийн эсэргүүцэл температураас хамаарч өсдгийг ашиглан эсэргүүцлэн термометр буюу термисторыг хийдэг. Хамаарал нь тэр бүр шугаман байдаггүй.

Туршилт Терморизесторын эсэргүүцэл температурын хамаарлыг судлах

Хэрэглэх зүйл:
- Шалны халаалтад хэрэглэдэг терморезистор (400 °C хүртэл хэмждэг)
- Мультиметр
- Термометр

Зураг 19.

Туршилтын зорилго:
- Мэдрэгчийн эсэргүүцэл температурын хамаарлыг судлах

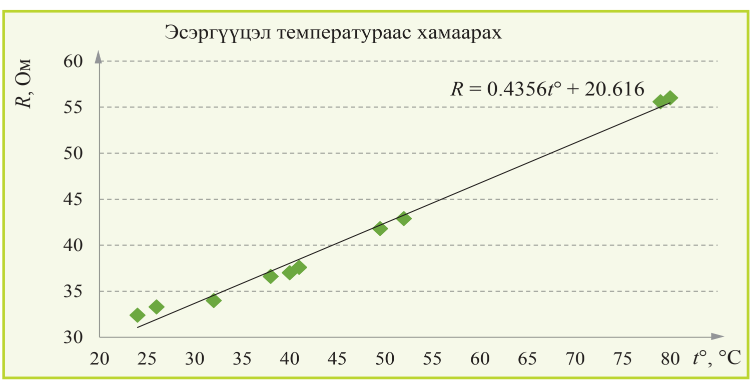
Үйл ажиллагаа
- Өрөөнд байгаа халуун, хүйтэн, бүлээн усыг хольж янз бүрийн температуртай ус бэлтгэнэ.
- Термометрээр температурыг, мультиметрээр эсэргүүцлийг хэмжихээр тохируулна.
- Хэмжилтийг тасалгааны температураас 20°C-80°C температурын хооронд хийнэ.

> *Анхаарах зүйл:*
> *Туршилтын үед мэдрэгчийг хэрэглэх явцдаа даавуун бүрээстэй хэсгийг норгож болохгүй!*
> *Мэдрэгчийн хошууны талаас илүүг усанд оруулж болохгүй!*

Хүснэгт 13.

№	t°, °C	R, Ом
1	24.0	32.4
2	26.0	33.3
3	32.0	34.0
4	38.0	36.6
5	40.0	37.0
6	41.0	37.6
7	49.5	41.8
8	52.0	42.9
9	79.0	55.6
10	80.0	56.0

График 5.



> *Үр дүн:* Эсэргүүцэл температурын хамаарлын графикаас харахад температур нэмэгдэхэд эсэргүүцэл ихсэж байна.

Дасгал

1. Дээрх туршилтад хэрэглэсэн шалны халаалтын мэдрэгч нь –40°C-ээс 400°C хүртэл хэмждэг. Хэмжилтийн $R = 0.435t° + 20.616$ үр дүнг хэрэглэн хүснэгт 14-ийг бөглөнө үү.

Хүснэгт 14.

$t°$,°C	−40°C	0°C	20°C	40°C	80°C	400°C
r, Ω						

2. Хагас дамжуулагч материалаар хийсэн термисторын тухай мэдээлэл хайж, илтгээрэй.
3. Термохос, терморезистор хэрэглэн хийсэн термометр, шингэнт термометрийн ялгаатай талыг хэмжих хязгаар, хэмжилтийн нарийвчлал, найдвартай байдлыг харьцуулан бичээрэй.

Төлөв ба төлөвийн өөрчлөлт

Үй олон атом молекулуудаас тогтох макро системийн шинж чанарыг тодорхойлдог бие биенээсээ үл хамаарах нягт, температур, концентрац гэх мэт хэмжигдэхүүнүүд урт хугацаанд өөрчлөгдөхгүй байвал тэнцвэрт төлөвт оршиж байна гэж үздэг. Гадны биетэй харилцан үйлчлэхгүйгээр, өөрөөр хэлбэл, дулаан солилцохгүй ажил хийхгүй үед систем аяндаа тэнцвэрт орж байх ёстой. Жишээ нь, хоёр хийг нэг саванд хольж гадны нөхцөлийг тогтмол байлгавал аяндаа хий диффузийн улмаас холилдон хольцын найрлага нь газар сайгүй ижил болно.

Системийг тэнцвэрт төлөвөөс гаргахын тулд дулаан шилжүүлэх ба ажил хийж, эсвэл хоёуланг нь хийж болно. Тэгэхээр бид системийн төлөвийг илэрхийлэгч хэмжигдэхүүнүүд ба системийн төлөвийг өөрчлөх ямар хэмжигдэхүүнүүд байгааг тодруулъя. Аливаа биеийг атом молекулуудаас тогтох термодинамик систем гэж үзэж эрдэмтэд судалгаагаа хийдэг.

Хүснэгт 15.

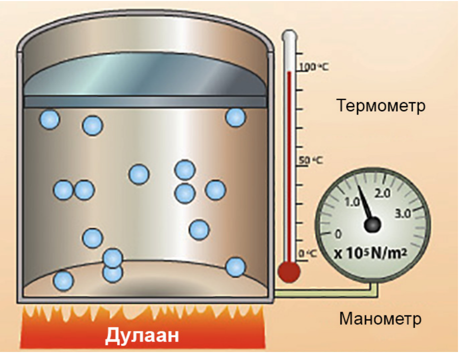
Системийн төлөвийг илэрхийлэх хэмжигдэхүүн		Системийн төлөвийг өөрчлөх хэмжигдэхүүн	
Хэмжигдэхүүний нэр	Хэмжигдэхүүний утга	Хэмжигдэхүүний нэр	Хэмжигдэхүүний утга
T-температур	Биеийг бүрдүүлэгч молекулуудын дундаж кинетик энергээр тодорхойлогдоно. Өөрөөр хэлбэл нэг молекулын энергээр тодорхойлогддог гэсэн үг.	Q-дулааны тоо хэмжээ	Механик ажил хийхгүйгээр нэг биеэс нөгөө биед шилжсэн энергийн тоо хэмжээ
U-дотоод энерги	Биеийг бүрдүүлэгч молекулууд нь дулааны хөдөлгөөний энергээс гадна харилцан үйлчлэлийн потенциал энергитэй. Мөн атомын доторх электрон ба цөм нь тасралтгүй хөдөлгөөн ба харилцан үйлчлэлийн энергитэй. Системийг бүрдүүлэгч бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн бүх төрлийн кинетик ба потенциал энерги нийлж системийн дотоод энерги болно.	A- ажил	Ажил нь энергийн хэлбэр бус өөрчлөлтөөр тодорхойлогдоно. Системд үйлчилсэн хүч ба системийн хэлбэр хэмжээний өөрчлөлт, биеийн шилжилтээс хамааруулан тооцоолж болно.

Дулааны хөдөлгөөн ба температур, дотоод энерги

Тооцоолол ба загварчлал: Бүлүүрт байгаа сийрэг хийн дотоод энергийг тооцох

Тооцох зүйл:

- Хий сийрэг бөгөөд молекулууд хол хол байрлах тул харилцан үйлчлэлийн потенциал энергийг бага гэж үзээд тооцохгүй орхиё.
- Хийг бүрдүүлж байгаа атом молекулуудын атомын доторх электрон ба цөмийн тасралтгүй хөдөлгөөн ба харилцан үйлчлэлийн энергийг молекулуудын кинетик энергитэй жишихэд бага тул тооцохгүй орхиё.
- Дээрх нөхцөлийг тооцвол хийн дотоод энерги нь молекулуудын нийт кинетик энергитэй тэнцэнэ.



Зураг 20.

Тооцоолол*:*

Хийг бүрдүүлж байгаа бөөм бүр тодорхой масстай, өөр өөр хурдтай. Нэг бөөмийн дундаж кинетик энерги

$$E_к = \frac{m_o \cdot \upsilon^2}{2}$$

Бөөмс өөр өөр хурдтай тул кинетик энерги нь өөр өөр байна. Хийн температур T нь нэг бөөмийн дундаж кинетик энергээр тодорхойлогдоно.

$$\langle E_к \rangle = \frac{m_o \cdot \langle \upsilon^2 \rangle}{2}$$

$$T \sim \langle E_к \rangle$$

Бөөмсийн нийт энергийг олбол

$$U = N \cdot \langle E_к \rangle = N \cdot \frac{m_o \cdot \langle \upsilon^2 \rangle}{2}$$

болно. Хийн дотоод энерги нь нийт бөөмсийн тооноос хамаарна.

Эрдэмтэд сийрэг хийг идеал хий гэсэн ойлголтоор загварчилдаг ба ийм хийн хувьд

$$\langle E_к \rangle = \frac{i}{2} kT$$

болохыг тогтоожээ. Тэгвэл

$$U = N \cdot \langle E_к \rangle = N \cdot \frac{i}{2} kT$$

гэж илэрхийлэгдэнэ.

Энэхүү загварчлалын хүрээнд биеийг халаахад буюу энерги шилжүүлэхэд шилжсэн дулааны тоо хэмжээ Q нь температурыг ΔT хэмжээгээр, дотоод энерги

$$Q \sim \Delta U = N \cdot \Delta \langle E_к \rangle = N \cdot \frac{i}{2} k \Delta T$$

өөрчлөгдөнө.

Биеийг халаахад гаднаас шилжүүлсэн Q дулааны тоо хэмжээ ихсэж температур нэмэгдэн биеийн дотоод энерги нэмэгдэнэ. Харин гадагш энерги Q алдахад температур буурч биеийн дотоод энерги багасна.

$$Q \sim \Delta U \sim \Delta T$$

3. ДУЛААНЫ ТООЦООЛОЛ

$$\text{Дулаан багтаамж} = \frac{\text{Дулааны тоо хэмжээ}}{\text{температурын өөрчлөлт}}$$

Дулаан багтаамж

Өдөр тутамдаа бид нэгэн төрлийн хувийн дулаан багтаамжийг нь тодорхойлсон цэвэр бодистой дандаа тааралдахгүй. Тухайн биеийг халаах хөргөхөд биед шилжүүлсэн дулааны тоо хэмжээ ба температурын өөрчлөлтийн харьцаагаар тодорхойлогдох хэмжигдэхүүнийг хэрэглэх болдог. Нэгэн жишээгээр тооцоольё. Биеийг халах үед авсан эсвэл хөрөх үед алдсан энергийг доорх томьёогоор тооцоолдгийг бид мэднэ.

$$Q = mc\Delta t^\circ$$

Эндээс дулааны тоо хэмжээ ба температурын өөрчлөлтийн харьцааг ольё.

$$\frac{Q}{\Delta t^\circ} = mc$$

Үүнд байгаа биеийн масс ба хувийн дулаан багтаамжийн үржвэрээр тодорхойлогдох хэмжигдэхүүнийг биеийн дулаан багтаамж гэж нэрлэдэг.

$$C = mc$$

$$\text{Биеийн дулаан багтаамж} = \text{Масс} \cdot \text{хувийн дулаан багтаамж}$$

Бид амьдрал техникт хэрэглэх бодис бүрийн хувийн дулаан багтаамжийг нэгэн утгатай тодорхойлж чадаагүй ба шинэ материал гаргах үйл явц эрчимтэй явагдаж байгаа өнөө үед дулаан багтаамжийг тодорхойлох аргад суралцах нь илүү чухал юм. Биеийг халаах хөргөхөөс гадна өөр өөр процессууд амьдралд тохиолддог.

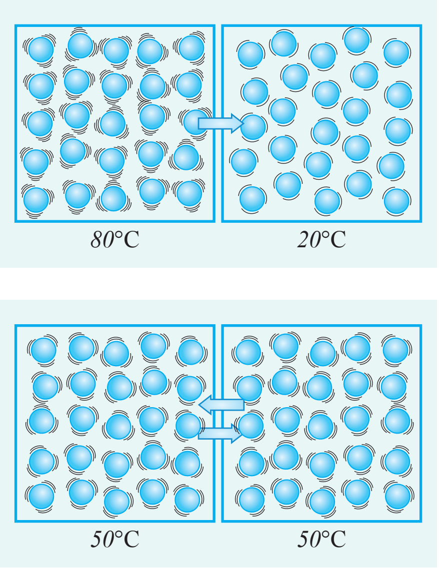
Аливаа процессын үед биед шилжүүлсэн дулааны тоо хэмжээг температурын өөрчлөлтөд харьцуулсан харьцаагаар тодорхойлогдох хэмжигдэхүүнийг дулаан багтаамж гэдэг.

$$C = \frac{Q}{\Delta t^\circ}$$

Физикийг цаашид нарийвчлан судлахдаа бид томьёоны илэрхийллийг илүү нарийвчлалтайгаар тодорхойлно.

Дасгал

1. Данханд 2 л цай чанахад хэрэглэх усны дулаан багтаамжийг тодорхойл.
2. Бүлүүрийн дор байгаа хийг t_1°=20°C-ээс t_2°=50°C хүртэл халаахад 6250 Ж дулаан авсан бол энэ хийн дулаан багтаамжийг тодорхойлно уу.
3. Халуун чулууг 1°C-ээр хөргөхөд Q=2.1 кЖ дулаан шилжүүлэв. Энэ чулууны дулаан багтаамжийг олно уу. Чулууны масс 5 кг бол хувийн дулаан багтаамж нь ямар утгатай байх вэ?
4. 5 кг ба 1 кг масстай усны аль нь дулаан багтаамж ихтэй вэ?



Зураг 21.

Дулааны тэнцвэр

Халуун t_1° температуртай хатуу биеийг хүйтэн t_2° температуртай хатуу биетэй нийлүүлэхэд халуун биеэс хүйтэн бие рүү энерги шилжиж, биесийн температур ижил θ болно. Халуун ба хүйтэн биеийн шилжүүлсэн дулааны тоо хэмжээ

$$Q_1=C_1\cdot(\theta-t_1^\circ)$$

$$Q_2=C_2\cdot(\theta-t_2^\circ)$$

болно. Энэ хоёр биеэс өөр бие энергийн солилцоонд оролцоогүй тул эдгээрийн нийлбэр тэг буюу

$$Q_1+Q_2=0$$

байна. Эдгээрийг хэрэглэн дулааны тэнцвэр тогтох үеийн температурыг олбол

$$0=C_1\cdot\theta-C_1\cdot t_1^\circ+C_2\cdot\theta-C_2\cdot t_2^\circ$$

гэдгээс

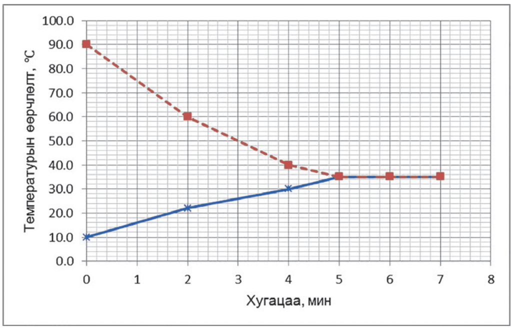
$$\theta = \frac{C_1\cdot t_1^\circ + C_2\cdot t_2^\circ}{C_1+C_2}$$ болно.

Дасгал

1. Ижил 1 л эзлэхүүнтэй t_1°=20°C ба t_2°=60°C температуртай усыг холивол ус ямар температуртай болох вэ? Дулаан алдагдалгүй гэж тооц.
2. Дулааны тэнцвэр тогтох үеийн температур нь
   а. Халуун биеийн температураас их
   б. Хүйтэн биеийн температураас бага
   в. Халуун биеийн температураас бага хүйтэн биеийн температураас их
   г. Ямар ч байж болно.

3. Тасалгааны температуртай калориметрийн 40 г масстай зэс саванд 20 г, $t°_1 = 60°C$ температуртай халуун ус хийв. Дулааны тэнцвэр тогтох үеийн температурыг олно уу.
4. Сурагч халуун усыг саванд хийж ус ба савны температурыг хэмжин хугацаанаас хамаарсан график 5-г байгуулав. Үүнийг хэрэглэн дараах өгүүлбэрийг гүйцээнэ үү. *Ус анх ....°С температуртай байсан. Сав анх ....°С температуртай байсан. Халуун ус дулаан ...., харин хүйтэн сав дулаан .... Ус ба сав .... минутын дараа .... ижил болно. 5 минутаас хойш .... тогтож, тэдгээрийн температур .... °С болно. Хэрэв энэ системд гаднаас дулаан өгөхгүй, гадагш дулаан алдахгүй, ямар нэгэн ажил хийхгүй бол 8 минутаас хойш савтай усны температур .... °С байна.*

График 5.



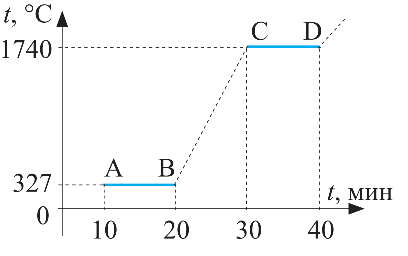
5. 4 кг масстай халуун усыг саванд хийхэд температур 13.2°С- ээр буурч, савных 63.0°С-р дээшилсэн. Савны масс усны масстай ижил бол савны дулаан багтаамж, хувийн дулаан багтаамжийг тус тус ол. Савтай ус орчинд дулаан алдаагүй гэж үз.
6. График-6-д тогтмол чадалтай халаагуурaар хар тугалгыг халаан температур хугацаанаас хамааран хэрхэн өөрчлөгдсөнийг судалсан ажиглалтын хэсгийг үзүүлэв. Үүнийг ашиглан дараах даалгавруудыг гүйцэтгэнэ үү.

6а. Графикийн АВ хэсэгт ямар процесс болж байна вэ?
а. Хатуу төлөвт халах б. Шингэн төлөвт халах
в. Хайлах г. Уурших д. Хийн төлөвт халах

6б. Хугацааны ямар завсарт бие шингэн төлөвт байх вэ?
а. 0 – 10 мин б. 0 – 20 мин в. 20 – 30 мин
г. 30 – 40 мин д. 0 – 40 мин

6в. Хугацааны ямар завсарт хар тугалганы молекулуудын дундаж кинетик энерги өөрчлөгдөхгүй байна вэ?
а. 0 – 10 мин б. 0 – 20 мин в. 20 – 30 мин
г. 30 – 40 мин д. 0 – 40 мин

График 6.



Туршилт Тогтмол чадалтай халаагуурaар усны хувийн дулаан багтаамжийг тодорхойлох

Хэрэглэх зүйл:
- Гар утасны цэнэглэгч
- Калориметр
- Ус
- Термометр
- Мультиметр

Зураг 22.

Ажиллах дараалал:
1. Калориметрийн халаагчийг хүчдэл үүсгэгчид залгана.
2. Термометрээр температурыг хугацаанаас хамааруулан хэмжинэ.
3. Хэмжилтийг хүснэгтэд тэмдэглэнэ.
4. Дулааны тоо хэмжээ ба температурын хамаарлын график байгуулна.
5. Графикаас усны хувийн дулаан багтаамжийг тодорхойлно.

Нэгэн сурагчийн туршилтын тайланг үзүүлье.

Тогтмол чадалтай халаагуур болгон гар утасны цэнэглэгч хэрэглэв. Туршилтын явцад тогтмол байсан хэмжигдэхүүнүүд:

- Халаагуурын хүчдэл нь 3.84 В,
- Халаагуурын гүйдлийн хүч 0.48 А
- Калориметрийн зэс савны масс 43.6 г
- Усны масс 55 г

Туршилтын тооцоо:

Халаагуураар шилжүүлж буй дулааны тоо хэмжээ нь түүний хүчдэл гүйдлийн хүч хугацааны үржвэрээр тодорхойлогдоно.

$$Q=IUt$$

Үүнийг калориметр дулаан тусгаарлагдсан гэж үзвэл зэс сав ба усыг халаахад хэрэглэнэ.

$$Q = m_{ус} \cdot c_{ус} \cdot \Delta t^\circ + m_{зэс} \cdot c_{зэс} \cdot \Delta t^\circ$$

Эндээс

$$c_{ус} = \frac{IUt - m_{зэс} \cdot c_{зэс} \cdot \Delta t^\circ}{m_{ус} \cdot \Delta t^\circ}$$

гэж тодорхойлогдоно.

Хэмжилтийг 28.2°С-ээс 30.0°С хооронд 4 минутын хугацаанд авав. Хэмжилтийн үр дүнг хүснэгт, усны авсан дулааны тоо хэмжээ хугацаанаас хамаарах график, усны авсан дулааны тоо хэмжээ $m_{ус} \cdot \Delta t^\circ$ усны масс температурын өөрчлөлтийн үржвэрээс хамаарах графикаар тус тус илэрхийлэв.

Усны авсан дулааны тоо хэмжээ $m_{ус} \cdot \Delta t^\circ$ усны масс температурын үржвэрээс хамаарах графикаас өнцгийн коэффициентоор усны дулаан багтаамжийг олбол $c_{ус} = 4190 \frac{Ж}{кг^\circ С}$.

Туршилтын үр дүн лавлахын утгатай дөхүү гарлаа.

Туршилтыг сайжруулах санаа:

Калориметрийн дулаан тусгаарлах эсгий бага температурын зөрөөнд бага хугацаанд хэмжилт хийхэд алдагдал бага байсан ба температурын зөрөөг их авах үед калориметрийн эсгий мэдэгдэхүйц халж байгааг хойшид туршилтад тооцоолох хэрэгтэй.

Үр дүн: Усны хувийн дулаан багтаамж

$$c_{ус} = 4190 \frac{Ж}{кг^\circ С}$$

t, с	*t*°, °C
0	28.2
10	28.3
20	28.4
28	28.5
44	28.6
61	28.7
77	28.8
84	28.9
100	29.0
116	29.1
124	29.2
140	29.3
157	29.4
163	29.5
180	29.6
197	29.7
213	29.8
222	29.9
237	30.0

График 7

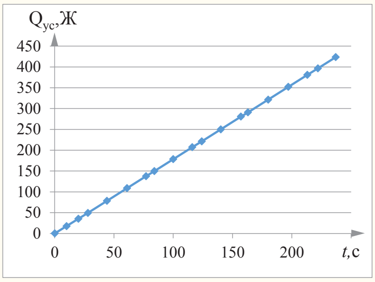
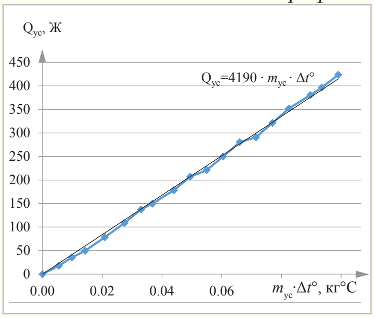


График 8



4. ТӨЛӨВИЙН ӨӨРЧЛӨЛТ

Бие хайлах ба царцах

Аливаа бодис тодорхой температурт хатуу төлөвөөс шингэн төлөвт шилждэг буюу хайлдаг. Үүнийг хайлах температур гэнэ. Бодис бүр харилцан адилгүй температурт хайлж, тэр температуртаа шингэн төлөвөөс хатуу төлөвт шилжин царцдаг. Гэхдээ бодисын хайлах (царцах) температур нь гаднах агаарын даралтаас хамааран өөрчлөгддөг. Жишээлбэл мөс ердийн даралтад 0°С-д хайлдаг бөгөөд өндөр даралтад түүнээс бага температурт хайлдаг байна. Өөрөөр хэлбэл даралт их байх тусам хайлах температур бага байна гэсэн үг юм.

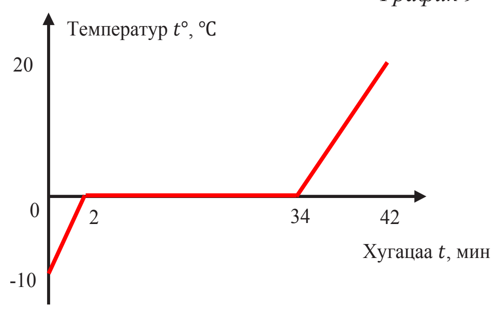
Хайлахдаа шингээсэн энерги, царцахдаа гадагш алдсан энергитэй тэнцүү байдаг. Хайлахдаа авч буй энергийг хайлахын, царцахдаа алдаж буйг нь царцахын энерги гэнэ.

Туршилт Тогтмол чадалтай халаагуураар 100 г мөсийг хайлуулж, түүний температур ба хугацааг хэмжин тэдгээрийн хамаарлыг график 9-д үзүүлэв.

Хугацааны 0 – 2 минутын завсарт мөс, 2 – 34 минутын завсарт ус ба мөс, 34 – 42 минутын завсарт ус байсан. Өөрөөр хэлбэл хайлах процесс нь 2 – 34 минутын завсарт явагдсан.

Мөс хайлах үедээ халаагуураас дулаан авах бөгөөд энэ үед температур нь өөрчлөгдөхгүй байна. Энэ нь мөсний хайлах үедээ авсан дулааны энерги нь бөөмсийн хөдөлгөөний кинетик энергид шилжихгүй тул температур өөрчлөгдөхгүй байгааг илэрхийлнэ. Өөрөөр хэлбэл халаагуураас хайлах үедээ авсан дулааны энерги нь бөөмсийн холбоосын потенциал энергид шилжиж байна.

График 9



Өмнөх ангид бид “Хайлах температурт байгаа 1 кг бодисыг бүрэн хайлуулахад өөр өөр энерги шаарддаг, бодисын энэ өвөрмөц шинжийг хайлахын хувийн дулаан гэдэг хэмжигдэхүүнээр илэрхийлдэг ба λ үсгээр тэмдэглэдэг” гэж үзсэн. Хайлах температурт байгаа m масстай бодисыг бүрэн хайлуулахад шаардагдах дулааны тоо хэмжээ

$$Q=m\lambda$$

томьёогоор тодорхойлогддог.

График 9-ийг ашиглан мөсний хайлахын хувийн дулааныг тодорхойлъё. Халаагуураас авсан дулаан мөсөнд бүрэн шилжсэн гэе.

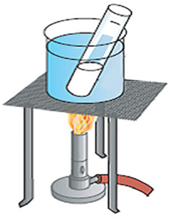
0 – 2 минутын завсарт

$$Q_1=Pt_1=mC_м\Delta t_1 \Rightarrow P\cdot 120=0.1\cdot 2100\cdot 10 \qquad P=17.5 \text{ Вт}$$

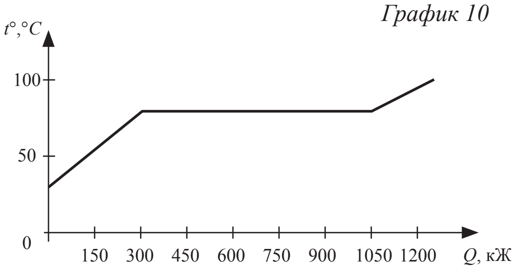
2 – 34 минутын завсарт

$$Q_2=Pt_2=m\lambda \Rightarrow 17.5\cdot 1920=0.1\cdot\lambda$$

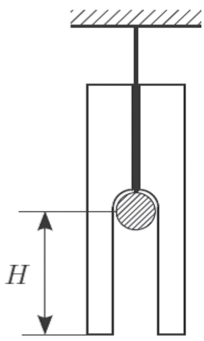
$$\lambda=336000\frac{Ж}{кг}=336\frac{кЖ}{кг}$$



Зураг 23.



Дасгал 1. Тогтмол чадалтай халаагуураар хэсэг тосыг халаан дулааны тоо хэмжээ температураас хамаарсан график 10-г байгуулав. Тосны масс 50 г бол хайлахын хувийн дулаан, хатуу ба шингэн төлөвт байх үеийн хувийн дулаан багтаамжийг тус тус ол (Зураг 23).



Зураг 24.

2. Босоо цилиндр хэлбэртэй мөсөн унжлагын голоор нэг төгсгөлд нь маш өндөр дулаан дамжуулал бүхий материалаар хийсэн бөмбөрцөг бэхэлсэн утас сүвлэж нөгөө төгсгөлийг таазанд бэхлэв (Зураг 24). Туршилт эхлэхэд бөмбөрцгийг t_1 температуртай болтол халааж, харин мөсөн унжлага 0°С байв. Мөс хайлснаас мөсөн унжлага доошилно. Харин хайлсан ус доош t_0 температуртайгаар усан дусал болон унана. Энэ үед бөмбөрцөг унжлага дотор $S=2$ см^2 талбайтай хонгил үүсгэсэн. Бөмбөрцөг $H=10$ см гүн хонгил үүсгээд зогссон бол бөмбөрцгийн анхны температурын тоон утгыг олж бодолтыг гүйцээнэ үү.

Бөмбөрцгийн алдах дулаан нь бөмбөрцөг ба мөсний температурын зөрөөнөөс шууд хамаарна. Бөмбөрцгийн дулаан багтаамж C=59.4 Ж/°С, мөсний хайлахын хувийн дулаан $\lambda=330\frac{кЖ}{кг}$ мөсний нягт нь ρ=900 кг/м^3.

Бодолт Металл хөрч, алдсан энергээр мөс хайлна. Металлын алдсан дулааны тоо хэмжээ нь

$$Q=C\left(t_1^\circ-t_0^\circ\right)$$

Энэ нь мөсийг хайлуулахад зарцуулагдана. Хайлсан мөсний авах дулааны тоо хэмжээ нь

$$Q=\lambda\cdot m$$

Хайлсан мөсний масс нь цилиндр нүхний $V=S\cdot h$ эзлэхүүн мөсний ρ нягтын үржвэрээр $m=\rho\cdot S\cdot h$ тодорхойлогдоно. Иймд авсан алдсан энергийг тэнцүүлбэл

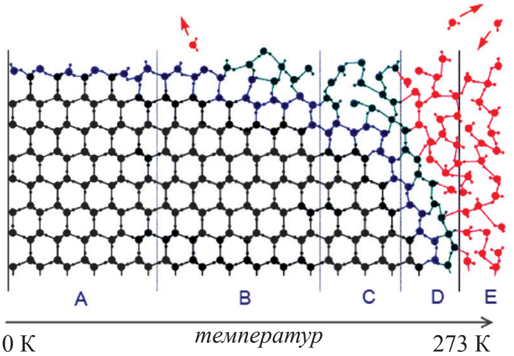
$$C\cdot\left(t_1^\circ-t_0^\circ\right)=\lambda\cdot\rho\cdot S\cdot h$$

Үүнээс сүүлийн нөхцөлийг тооцвол

$$t_1^\circ=t_0^\circ+\frac{\lambda\rho SH}{C}$$

Зураг 25.

График 11.



Ууршиx

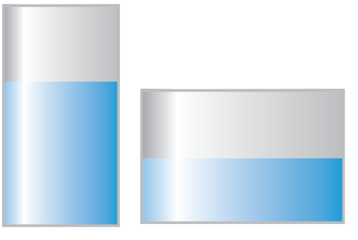
Атмосферийн даралтад 0°C температурт ус мөс хоёр зэрэгцэн оршино. Тодруулбал: нэгэн ижил температурт байгаа ч физик шинж чанарын хувьд эрс ялгаатай төлөвт оршино. Мөн 100°C температурт ус ба уур байдалтай бие биедээ шилжин байж чаддаг. Ууршилт бүх температурт явагддаг. Биеийг бүрдүүлж байгаа молекулууд харилцан адилгүй хурдтай байдгийг бид мэднэ. Зарим молекулуудын дулааны хөдөлгөөний энерги харилцан үйлчлэлийн потенциал энергээс их болоход тухайн молекул биеэс сугаран гарч ууршдаг. Зурагт мөс ба мөс хайлах үед молекул сугаран гарах байдлыг үзүүлэв.

Ууршилтад нөлөөлөх хүчин зүйлс

Хэрэв биеийн температурыг нэмэгдүүлбэл хурдан молекулын тоо олширч ууршилт нэмэгдэнэ. Орчин үед ууpaap хатаах технологийг өргөн хэрэглэдэг. Нэгэн сурагч өвөл нойтон хувцсаа маш хурдан хатаах хэрэгтэй болоход аав нь хувцсыг нь жигнэхэд ихэд эргэлзэн гайхан харж байжээ.

Хэрэв шингэний гадаргын талбайг ихэсгэвэл гадарга орчимд оногдох молекулын тоо олширч ууршилт нэмэгдэнэ. Жишээ нь зурагт үзүүлсэн шиг мөсний дурын гадаргын оронт тор нь эвдрэлтэй байх ба харахад хайланги шингэн төлөвт оршино. Үүнтэй холбоотой өвөл наранд дулаахан өдөр голын мөснөөс уур дэгдэн хөөрч байгаа нь ажиглагддаг.

Туршилт Яг ижилхэн эзлэхүүнтэй багахан усыг нэгийг нь нарийн өндөр саванд нөгөөг нь хавтгай саванд хийгээд ууршиж дуусах хугацааг хэмжээрэй (Зураг 26).



Зураг 26.

Хүснэгт 15.

Сав	Ууршсан хугацаа
Өндөр сав дахь ус	
Хавтгай сав дахь ус	

Задгай савтай усаа сэвж туршилтын ууршиx хугацааг дахин хэмжээрэй.

Ууршсан молекулууд шингэний гадарга орчимд байх бөгөөд зарим нь буцаад шингэн рүү орж шингэрнэ. Иймд шингэний гадарга орчмын уурын молекулуудыг зайлуулахад шингэнд буцаж орох молекулуудын тоо цөөрч ууршилт илүү хурдан явагдана. Жишээ нь гадаа салхинд хувцас хурдан хатдаг (Зураг 27).

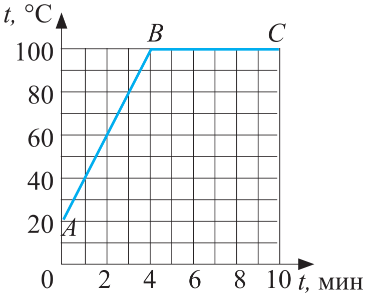
Зураг 27.

Зураг 27.

Буцлах

Шингэн бүхэн атмосферийн даралтад харилцан адилгүй температурт буцалдгийг бид мэднэ. Шингэний гадарга орчмын молекулууд агаарын молекулууд дундуур ууршина. Агаарын молекулууд ууршилтад төдий л нөлөөлөл бага. Шингэний гадарга орчмын молекулын тоо өссөөр мандал дээрх уурын даралт ихсэн тухайн температурт ханасан уурын даралттай ижил болтол ууршиж тэнцвэрт орно. Ханасан уурын даралт гадна агаарын даралтаас бага үед ууршилт явна. Харин ханасан уурын даралт нь гадаад даралтаас их буюу тэнцүү болоход ууршиж үйл явц эрс өөрчлөгдөж буцалж эхэлнэ. Шингэний гүнээс хийн бөмбөлгүүд эрчимтэй үүсч хөөрнө. Шингэний бүх хэсгээс ууршихыг буцлах гэдэг. Шингэн буцлахын тулд түүний гүнд хийн цэврүү үүсэх шаардлагатай бөгөөд хэрвээ цэврүү үүсэх төвүүд байхгүй бол шингэн хийд шилжиж чадахгүй халсаар байдаг. Амьдрал дээр савны хана өө сэвгүй хийгдэх нь тун ховор байдаг тул хийн цэврүү үүсэх төвүүд байнга байдгаас хэт халсан шингэн үүсдэггүй байна.

График 12.



Тооцоолол:

Буцлах температурт байгаа шингэний ууршихын хувийн дулааныг тооцоольё. Тогтмол чадалтай халаагуураар шингэнийг халаахад температур хугацаанаас график 12-т үзүүлснээр хамаарч байв. Графикаас харахад шингэн 100°С-д буцалж, гаднаас өгсөн энерги нь шингэний молекулуудын холбоосыг таслахад зарцуулагдаж байна. 4 мин-аас хойш буцлах ба буцлах үед гаднаас авсан нийт $P(t-t_0)$ дулаанаа ууршсан шингэний масс m ба ууршихын хувийн дулааны үржвэрээр тодорхойлогдох дулаанд шилжүүлнэ.

$$Q = P \cdot (t - t_0) = m \cdot r$$

Эндээс буцлах температурт байгаа шингэний ууршихын хувийн дулааныг

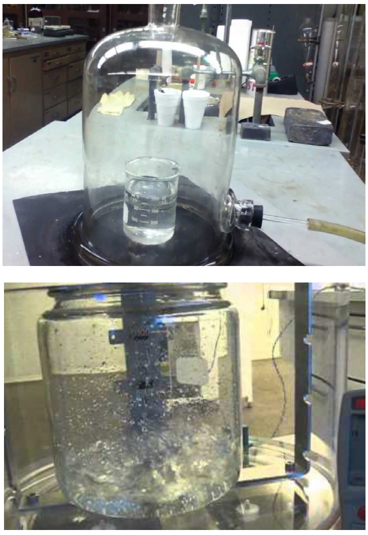
$$r = \frac{P \cdot (t - t_0)}{m}$$ гэж тооцож олно.

Туршилт Бага даралтад ус буцлахыг ажиглах

Хэрэглэх зүйл:

- Вакуум таваг
- Халуун ус
- Комовскийн насос (Сорох насос)

Үйл явц: Халуун усыг тунгалаг аяганд хийж вакуум тавагт байрлуулан доторх агаарыг соруулахад ус 100 °С-ээс бага температурт буцална.

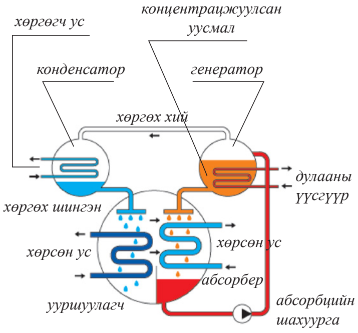


Зураг 28.

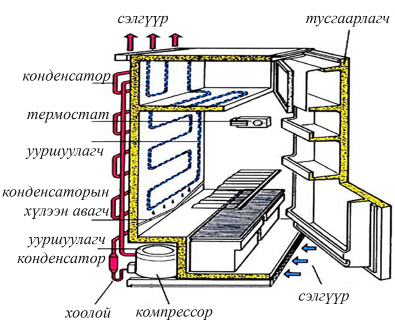
> Шингэн буцлахдаа түүний бүх цэгт хийн цэврүү үүсэж дээш хөөрнө. Хэрэв шингэний гадаргын орчим дахь агаарын даралт бага байвал шингэн доторх хийн цэврүү бага даралттай үүснэ. Өөрөөр хэлбэл бага температурт үүснэ гэсэн үг. Иймд агаарын даралт бага үед шингэн бага температурт буцалж байна.

Зураг 29.

Зураг 30.



Зураг 31. Абсорбцийн хөргөгчийн ажиллах зарчим



Зураг 32. Компрессорт хөргөгчийн ажиллах зарчим

Зураг 33. Конденсацлах

Уршилтаар хөргөх

Халууцахаараа хүн хөлөрдөг. Мөн зун усанд ороод гарахад хэсэг хугацаанд даарснаа бие хатахаар даарахаа больдог. Эдгээрийн аль ч тохиолдолд биеийн гадаргаас ус уршихдаа хүний биеэс энерги авдаг. Уршихын хувийн дулаан ихтэй шингэн уршихдаа хөргөх биеэс энерги авч хөрдөг аргыг амьдрал техникт өргөн хэрэглэдэг.

Шингэний молекулууд шингэнээс сугаран гарч хийд шилжихдээ молекулуудын харилцан үйлчлэлийн хүчийг даван туулахын тулд ажил хийдэг. Өндөр хурдтай молекулууд шингэнийг орхиж, шингэний үлдсэн молекулуудын дундаж хурд багасч, молекулуудын хөдөлгөөний дундаж кинетик энерги буурдаг. Өөрөөр хэлбэл температур буурна. Хэрэв шингэнд гаднаас энерги нэмж өгөхгүй үед уршилтаар шингэн хөрч, шингэний дотоод энерги буурдаг. Энэ технологийг амьдрал практикт өргөн хэрэглэдэг. Жишээлбэл хурдан муудаг бүтээгдэхүүнийг хадгалах тээвэрлэхдээ шингэн аммиак эсвэл нүүрстөрөгчийн давхар ислийг уршуулдаг компрессорын (Зураг 32) ба абсорбцийн (Зураг 32) гэж хоёр төрлийн хөргөгч байдаг.

Абсорбцийн хөргөгчийн ажлын цикл:

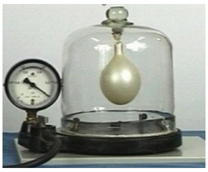
- Генераторт: Аммиакийн ханасан уур усны өтгөн уусмал хөргөх биеэс дулаан авч уршин, конденсатортой холбогдсон уршуулагч нэрэх хоолойд орно.
- Уршуулагчид: Устай металл хоолойнуудад дулаанаа алдан конденсацлагдан шингэрэн насосоор генераторт орно.
- Конденсаторт: Хөргөх хий устай металл хоолойнуудаар орчинд дулаанаа алдан шингэрнэ.

Компрессорт хөргөгчний ажлын цикл:

- Уршуулагчид: Хий шингэний холимог хөргөх орчноос дулаан авч уршина.
- Компрессорт: Уршуулагчаас хийг хөргөх камерын гадна орших дулаан солилцох конденсатор руу насосоор даралтаар шахдаг.
- Конденсаторт: Орчинд дулаанаа алдан конденсацлагдан хий шингэн төлөвт шилжинэ.

Туршилт Зураг 33-т үзүүлснээр шилэн саванд халуун ус хийж амыг нь тунгалаг уутаар битүү таглан дээр нь зайрмаг тавьж ажиглаарай. Үүнийг тайлбарлаарай.

Дасгал Доорх зурагт тайлбар хийнэ үү.



Бүлэг 3

Долгион ба дуу

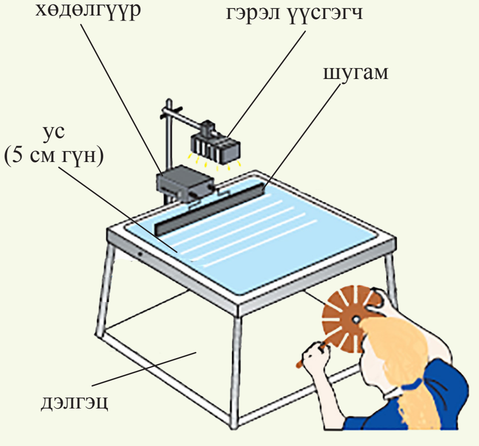
Бидний эргэн тойронд ой шуугих, гол шоржигнох, машины дохио хангинах зэрэг нь дууны долгион тархаж байгаагийн илрэл юм. Зарим долгионыг бид харж, сонсох зэргээр мэдэрдэг байхад заримыг нь багажийн тусламжтай илрүүлэх болдог. Долгион хоёр орчны заагт тусахад ойно эсвэл хугарч нэвтэрнэ. Долгион тархах замд саад таарахад зарим үед бидний анзаараагүй сонирхолтой үзэгдлийг бий болгодог.

Бид энэ хэсэгт долгион, долгионы шинж чанарын талаар судална.

1. Долгионы шинж чанар

Нуур, цөөрөм рүү чулуу шидэхэд гадарга дээр нь цагариг үүсэн томорч байдаг. Тэр долгионыг тогтоон ажиглавал зарим хэсгээрээ усны гадарга гүдийж, зарим хэсгээрээ хотойж байгаа нь харагдана. Долгионыг илүү сайн ойлгохын тулд туршилт хийцгээе.

Долгионы тэвш
Долгионы тэвш нь усны гадарга дээр долгион тархахыг ажиглах туршилтын багаж юм.



Туршилт 1: Долгион хэрхэн үүсэж байна вэ?

Хэрэглэгдэх зүйлс: Долгионы тэвшний хэмжээ: гүн 5 см, урт 1 м, өргөн 1 м, шугам, жижиг саваа

Анхаарах зүйлс: Савнаас ус хальж асгарахаас сэргийлээрэй.

Гүйцэтгэх дараалал:

1. Тэвшний дунд хүртэл ус хийнэ.
2. Хэсэг хугацаа хүлээгээд ус тогтуун болмогц саваагаа эгц босоогоор нь усны гадаргад хүргэн долгионы тархалтыг ажиглана.
3. Долгион тархаж байгаа хэлбэрийг ажиглаж дэвтэртээ тэмдэглэнэ. (Зургийн аппаратаар зургийг нь авбал сайтар ажиглахад дөхөмтэй болно.)
4. Савааны оронд шугамыг хөндлөн бариад усны гадаргад хүргэж өмнөх туршилтыг давтан гүйцэтгэнэ.
5. Саваа болон шугам ашиглан үүсгэсэн долгион ямар хэлбэртэй тархаж байгаа талаар харилцан ярилцаж дүгнэлтийг дэвтэртээ тэмдэглээрэй.

Усны гадаргаас өөр зүйлд долгион тархах байдлыг ажиглахын тулд нэг үзүүрийг бэхэлсэн олс болон урт пүрш ашиглан зурагт үзүүлсний дагуу туршилт хийж үзээрэй. Долгион тархахад P цэгтэй адилаар орчны цэг болгон хэлбэлзэнэ (Зураг 1).

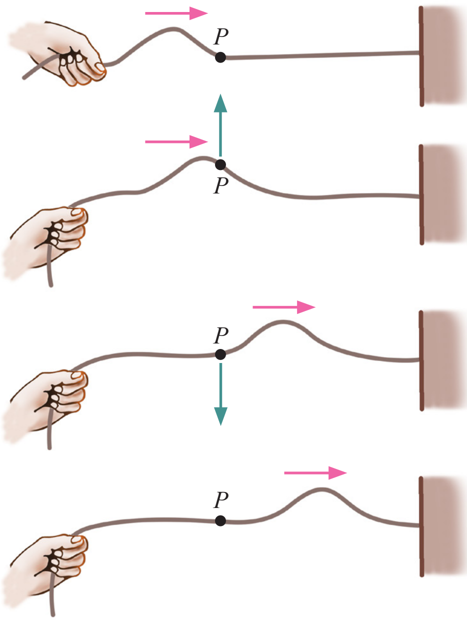
Туршилт 2: Олсоор дамжих долгион

Хэрэглэгдэх зүйлс: 1 м-ээс илүү урттай олс

Анхаарах зүйлс: Туршилтыг 3-аас дээш хүүхэдтэй багаар гүйцэтгэх нь тохиромжтой.

Гүйцэтгэх дараалал:

1. Олсны нэг үзүүрийг хананд бэхэлнэ.
2. Олсны дунд хавьд тод өнгөөр тэмдэг тавина. Сайн харагдахуйц утас уясан ч болно. Энэ цэгийг P гэж тэмдэглэе.
3. Олсны нөгөө үзүүрээс барьж зурагт үзүүлсэнтэй адилаар нэг удаа доош огцом сэгсэрнэ.
4. Сэгсрэх үед олсны нэг хэсэг гүдгэр хэлбэртэй болох бөгөөд багийн өөр нэг гишүүн тэр гүдгэр хэсэг олсоор хэрхэн дамжиж байгааг ажиглана.
5. Өөр нэг хүүхэд долгион явж өнгөрөхөд P цэг ямар хөдөлгөөн хийж байгааг ажиглана.
6. Багийн гишүүд үүргээ солиод туршилтыг давтан явуулна.
7. Тус бүрдээ олсоор долгион яаж тархсан болон P цэгийн байрлал хэрхэн өөрчлөгдсөн талаарх ажиглалтаа дэвтэртээ тэмдэглэнэ.

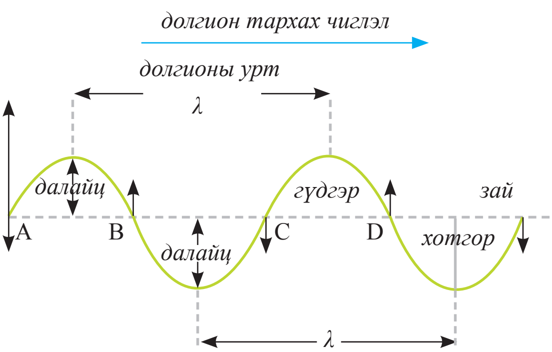


Зураг 1.

8. Туршилтын үр дүнг дараах асуултын дагуу харилцан ярилцаж нэгтгээрэй.
   - Олсоор долгион хэрхэн тархаж байсан бэ?
   - Долгион P цэгээр дамжин өнгөрөхөд P цэг ямар хөдөлгөөн хийсэн бэ?
   - P цэг олсны дагуу хажуу тийш шилжсэн үү?
   - P цэгээс өөр цэгийг долгион дайран өнгөрөхөд тэр цэг ямар хөдөлгөөн хийх вэ?

Туршилтын үр дүн
1. Гүдгэр хэлбэртэй долгион олсны нэг үзүүрээс нөгөө үзүүр луу тархаж байна.
2. Гүдгэр хэсэг дамжин өнгөрөх үед P цэг дээш доош хөдөлж байсан боловч хажуу тийш шилжээгүй.
3. Олсны бусад цэгүүд гүдгэр дамжин өнгөрөхөд P цэгтэй адил хөдөлгөөн хийнэ.

Усны гадаргаар тархаж буй долгион, олсоор дамжих долгионы тухайн агшинд харагдах байдлын зургийг өндөр хурдтай аппаратаар авбал синус функцийн графиктай төсөөтэй байдаг. Гэхдээ бүгд ийм хэлбэртэй дамждаг юм бол бид тархаж байгаа олон долгионыг хооронд нь яаж ялгаж таних вэ?



Зураг 2.

Долгионы шинж чанарыг илэрхийлдэг долгионы урт, далайц, долгионы үе, давтамж гэх мэт физик хэмжигдэхүүнүүд байдаг. Эдгээр хэмжигдэхүүнийг ашиглан бид янз бүрийн долгионыг ялган танина.

Давалгааны зэргэлдээ гүдгэрүүдийн хоорондох зайг **долгионы урт** гэнэ. λ гэж тэмдэглэнэ. см, м гэх мэт уртын нэгжээр илэрхийлнэ.

Давалгааны өндрийг (тэгш хэсгээс өргөгдөх) **долгионы далайц** гэнэ. Долгион тархах үед тэр орчны цэг бүр тэнцвэрийнхээ орчимд хэлбэлзэх буюу бага хэмжээгээр савлан шилжиж байдаг. Энэ шилжилтийн хамгийн их хэмжээг мөн **долгионы далайц** гэдэг.

Өмнөх давалгаа байсан хэсэгт дараагийн давалгаа ирэх хугацааг **долгионы үе** гэж нэрлэнэ. Энэ хугацаанд долгион түүний долгионы урттай тэнцэх хэмжээний замыг туулна.

Долгионы үетэй тэнцүү хугацаанд долгион тархаж буй орчны цэгүүд нэг бүтэн хэлбэлзэл хийнэ. Хэлбэлзэж буй хэсгийн 1 секундэд хийж байгаа хэлбэлзлийн тоог **долгионы давтамж** гэнэ. Давтамжийг 1/с буюу Гц (Герц) нэгжээр илэрхийлнэ. Долгионы үе ба давтамж урвуу хамааралтай байдаг.

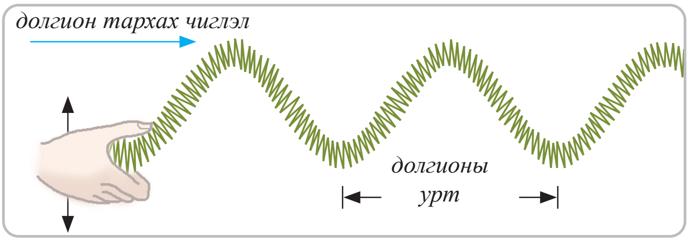
Долгионы тархалт

Туршилт 3: Пүршээр дамжих долгион

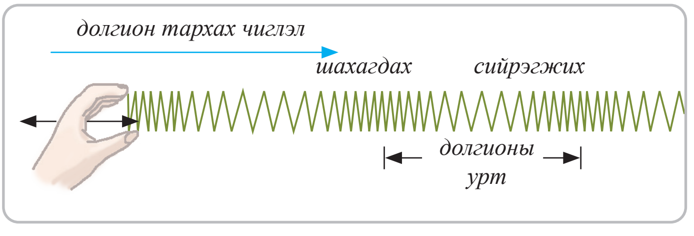
Хэрэглэгдэх зүйлс: 1 м-ээс илүү урттай пүрш

Гүйцэтгэх дараалал:

1. Ширээний тавцан дээр пүршийг шулуун байрлуулж нэг үзүүрийг нь хөдөлгөөнгүй болгон бэхэлнэ. Пүршний аль нэг хэсэгт тод өнгөөр тэмдэг тавина.
2. Пүршний нөгөө үзүүрээс нь хэвтээ чиглэлд зурагт үзүүлсний дагуу хөдөлгөнө. Энэ үед пүршээр дамжин долгион хэрхэн тархаж байгааг ажиглаж дэвтэртээ тэмдэглэнэ. Тод өнгөөр тэмдэг тавьсан хэсгийн хөдөлгөөн ямар байгааг зурж тэмдэглэнэ.
3. Дараа нь пүршийг өөр рүүгээ сунгаж татсаны дараа суллахад долгион пүршээр хэрхэн тархаж байгааг ажиглаж дэвтэртээ тэмдэглэнэ. Энэ үед тод өнгөөр тэмдэг тавьсан хэсгийн хөдөлгөөн ямар байгааг мөн зурж тэмдэглэнэ.
4. Хоёр тохиолдолд пүршний тэмдэглэсэн хэсгийн хэлбэлзэж буй чиглэл болон долгион тархаж буй чиглэлийн хооронд ямар хамаарал байгааг харьцуулан жишиж ярилцаарай.



Зураг 3а. Хөндлөн долгион



Зураг 3б. Тууш долгион

Пүршний үзүүрийг дээш доош хөдөлгөн хэлбэлзүүлэхэд хөндлөн долгион (Зураг 3а), үзүүрийг хойш урагш хөдөлгөхөд тууш (Зураг 3б) долгион үүсч байна.

Орчны цэгийн хэлбэлзэл хийх чиглэл долгионы тархах чиглэлд перпендикуляр байвал хөндлөн долгион, дагуу байвал тууш долгион гэж нэрлэнэ. Тиймээс усны гадаргад туссан дуслын нөлөөгөөр тэр хэсгийн цэг хэлбэлзэж эхлээд цаашид тал бүрийн цэгүүд хэлбэлзэж байна. Үүнийг бид усны гадарга дээр цагариг үүсэн томорч байгаагаар хардаг.

Орчны цэгт гарсан өөрчлөлт (хэлбэлзэл) түүний эргэн тойрны цэгүүдэд дамжих үзэгдлийг долгион гэж нэрлэнэ.

Ус, пүрш гэх мэт хэлбэлзэл тархаж байгаа материалыг **долгион тархах орчин** гэж нэрлэнэ.

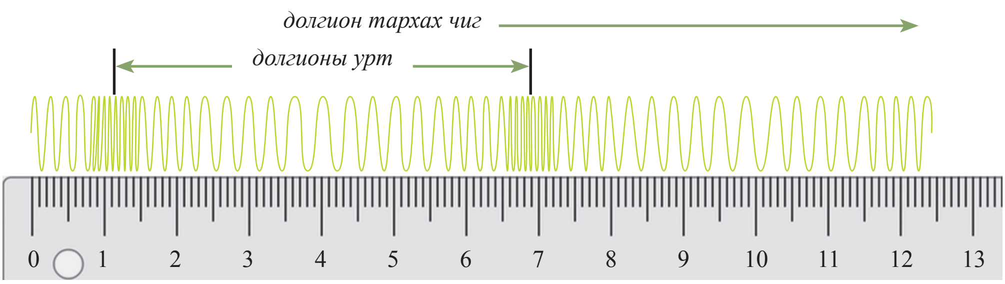
Хэлбэлзэж буй цэгүүд хэр зөрөөтэй хэлбэлзэж байгааг **долгионы фаз** гэдэг хэмжигдэхүүнээр тодорхойлно. Тухайлбал 2-р зурагт үзүүлсэн A, B, C, D цэгүүд тухайн агшинд бүгд тэнцвэрийн байрыг дайрч хөдлөх бөгөөд хурдны чиглэлийг сумаар харуулав.

A, C цэгүүд ижил хурдаар доош хөдөлж байхад B, D цэгүүд ижил хурдаар дээш хөдөлж байна. Энэ маягаар хурдны хэмжээ, чиглэл адил байх цэгүүдийг ижил фазтай гэнэ. Зураг дахь A, C цэгүүд болон B, D цэгүүд хоорондоо ижил фазтай. Хурдны хэмжээ адил боловч чиглэл нь эсрэг байх цэгүүдийг эсрэг фазтай гэж хэлнэ. Жишээ нь A ба B цэгүүд хоорондоо эсрэг фазтай.

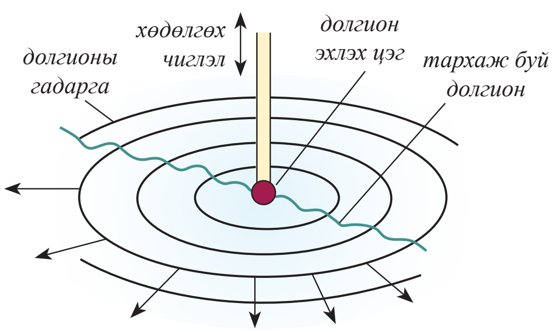
Ижил фазтай зэргэлдээ цэгүүдийн хоорондох зай долгионы урттай тэнцүү байна.

Асуулт 1: Эсрэг фазтай зэргэлдээ цэгүүдийн хоорондох зай ямар байх вэ? Долгионы уртаар илэрхийлнэ үү.

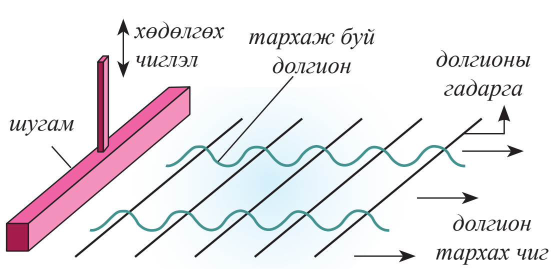
Асуулт 2: Зураг 4-т пүршээр тархах тууш долгионыг үзүүлэв. Шугамын хуваарийг уншиж долгионы уртын хэмжээг олоорой.



Зураг 4.



Зураг 5а. Бөмбөлөг долгион



Зураг 5б. Хавтгай долгион

Долгион тархах, долгионы гадарга

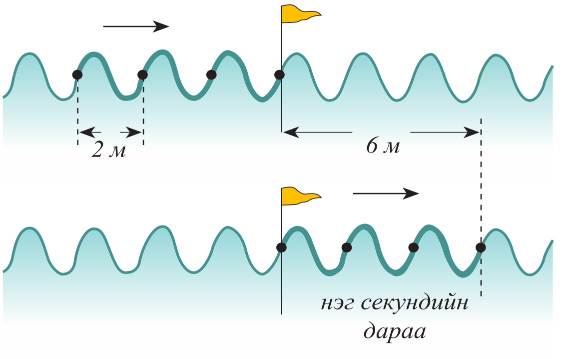
Бид эхний туршилтаар саваа болон шугам ашиглан усны гадаргаар долгион хэрхэн тархахыг судалсан. Саваа ашиглан үүсгэсэн долгион цагариг хэлбэртэй, харин шугам ашиглан үүсгэсэн долгион шулуун хэлбэртэй тархаж байсан. Тэлж томрох цагариг (Зураг 5а) болон үүсгэгчээс холдон байгаа шулуун давалгаанууд долгионы гадаргын жишээ юм (Зураг 5б).

Тухайн агшинд долгион дөнгөж очиж байгаа цэгүүдээс тогтсон гадаргыг долгионы гадарга гэж нэрлэнэ. Долгионы гадаргын цэгүүд ижил фазтай байна.

Долгионы гадаргад перпендикуляр цацрагаар долгион тархах чиглэлийг тэмдэглэнэ.

Жишээ: **Долгионы уртыг тодорхойлцгооё.**

Хугацааны эхний агшинд долгионы урд хэсэг дарцагтай зэрэгцэж байснаа 1 с–ийн дараа гурав дахь долгион дарцгийг дөнгөж өнгөрсөн агшинг үзүүлэв (Зураг 6). Усны гадаргаар долгион тархах хурдыг олоорой.



Зураг 6.

Бодолт Энэ бодлогыг хоёр аргаар бодож болно. Эхлээд жигд хөдөлгөөний хурдны тухай ойлголтыг ашиглана.

$$\upsilon = \frac{S}{t} = \frac{\text{Нийт явсан зам}}{\text{зарцуулсан хугацаа}} = \frac{6\,\text{м}}{1\,\text{с}} = 6\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Нөгөө талаас, нийт явсан зам нь 6 м буюу 3λ (λ- долгионы урт)-тай тэнцүү. Долгион нь долгионы урттай тэнцүү хэмжээний замыг долгионы үетэй тэнцүү хугацаанд туулдах тул

$$\upsilon = \frac{S}{t} = \frac{3\lambda}{3T} = \frac{\lambda}{T};\quad \upsilon = \frac{\lambda}{T} = \frac{2\,\text{м}}{\frac{1}{3}\text{с}} = 6\,\frac{\text{м}}{\text{с}};$$

Долгионы үндсэн тэгшитгэл

$$\upsilon = \frac{S}{t} = \frac{\lambda}{T} = \nu\lambda$$

Хоёр аргаар бодсон хариу тохирч байна. Давтамж долгионы үе хоорондоо $\nu = \frac{1}{T}$ гэсэн хамааралтай байдаг тул $\upsilon = \frac{S}{t} = \frac{\lambda}{T} = \nu\lambda$ гэсэн тэгшитгэл гарна. Үүнийг **долгионы үндсэн тэгшитгэл** гэнэ. Долгионы тэгшитгэл нь долгионы хурд, долгионы давтамж, тархах хурдны хамаарлыг илэрхийлнэ.

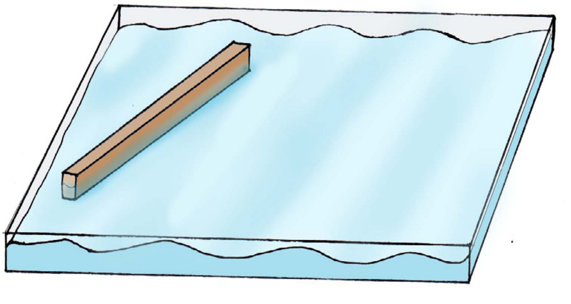
Долгион ойх, хугарах

Туршилт 4: Хавтгай долгионы ойлт

Хэрэглэгдэх зүйлс: Долгионы тэвш

Гүйцэтгэх дараалал:

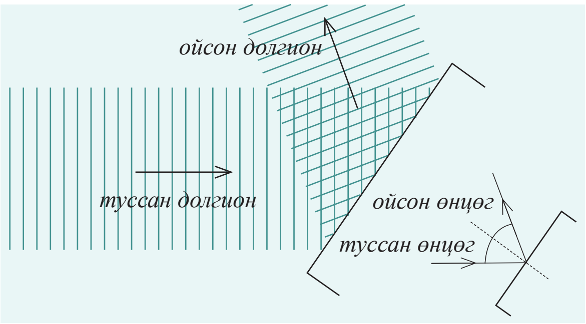
1. Долгионы тэвшийг тэгш байрлуулж 3 см орчим гүн ус хийн долгион ойлгох хана ба долгион үүсгэх шугамыг зурагт үзүүлснээр байрлуулна.
2. Шугамыг хэлбэлзүүлж хавтгай долгион үүсгэнэ.
3. Усны гадаргаар тархаж буй долгион, хананаас хэрхэн ойж байгааг ажиглаж усны гадарга дээрх дүрсийг дэвтэртээ тэмдэглэнэ.



Зураг 7а.

4. Туссан болон ойсон долгионы гадарга хаана байгааг ялган тэмдэглэнэ.
5. Ойлгогч хананы 3 цэг дээр туссан болон ойсон цацрагийг зурж тусгалын ба ойлтын өнцгийг тэмдэглэн хоорондоо ямар холбоотой байгаа талаар дүгнэлт гаргаж дэвтэртээ тэмдэглэнэ.

Тусч байгаа долгион ойлгогч хананы цэг бүрээс ойно. Цэг бүрийн хувьд тусгалын өнцөг, ойлтын өнцөг хоорондоо тэнцүү байна.



Зураг 7б.

Туршилт 5: Олсоор тархах долгион хэрхэн ойдог вэ?

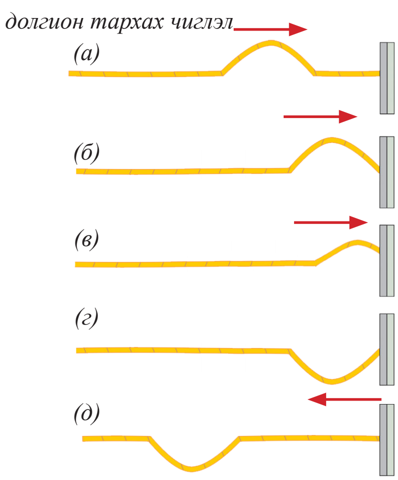
Хэрэглэгдэх зүйлс: Урт олс, олсыг бэхлэх зүйл

Гүйцэтгэх дараалал:

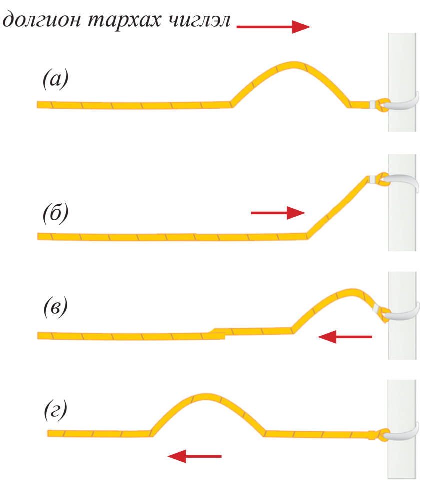
1. Олсны нэг үзүүрийг сул хөдөлж байхаар тогтооно.
2. Олсны нөгөө үзүүрээс барин нэг удаа хүчтэй сэгсэрнэ.
3. Долгион олсоор тархаад нөгөө үзүүрээс хэрхэн буцаж ойж байгааг ажиглаж дэвтэртээ тэмдэглэнэ.
4. Олсны үзүүрийг хөдөлгөөнгүй бэхэлсний дараа 2, 3-р үйлдлийг давтан гүйцэтгэнэ.
5. Олсны үзүүр чөлөөтэй хөдлөх, хөдөлгөөнгүй бэхлэгдсэн тохиолдолд долгион хэрхэн ойж байгааг зурж ажиглалтын үр дүнгээ харилцан ярилцаарай.

Туршилтын үр дүнгээ дараах асуултын дагуу нэгтгээрэй.

1. Бэхэлсэн үзүүрээс ойход туссан долгионд ямар өөрчлөлт гарсан бэ? Ямар хэмжигдэхүүн өөрчлөгдөж байна вэ?
2. Чөлөөтэй үзүүрээс ойход туссан долгионд ямар өөрчлөлт гарсан бэ?



Зураг 8а. Долгион олсны бэхлэгдсэн үзүүрээс ойх



Зураг 8б. Долгион олсны чөлөөтэй үзүүрээс ойх

Зураг 8.

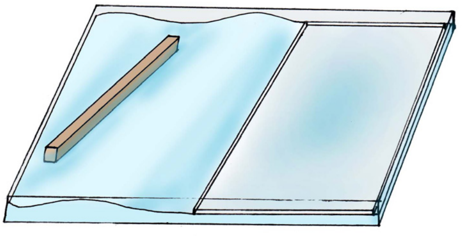
Туршилт 6: Хавтгай долгион хугарахыг судлах

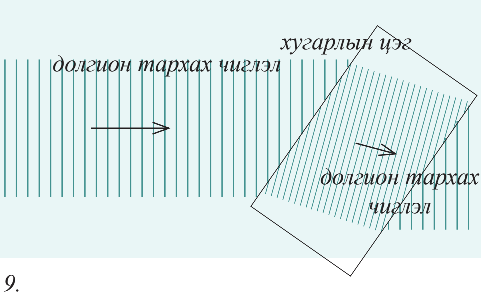
Хоёр орчинд долгион тархах хурд өөр байгаа нь долгионы хугарлын шалтгаан болдог.

Хэрэглэгдэх зүйлс: Долгионы тэвш, хавтгай шил, долгион үүсгэх шугам

Гүйцэтгэх дараалал:

1. Долгионы тэвшийг тэгш гадарга дээр байрлуулж дунд нь хүртэл ус хийнэ.
2. Тэвшний нэг хэсэгт зурагт үзүүлсний дагуу зузаан шил тавьж усны гүнийг ялгаатай болгоно.
3. Долгионы үүсгүүрийг хажуу тийш бага зэрэг эргүүлэн долгион үүсгэж туссан ба хугарсан долгионы хэлбэрийг ажиглана.
4. Долгионы хугарлын зургийг авч туссан долгионы гадарга хугарсан долгионы гадаргыг ялган тэмдэглэнэ.
5. Хугарч байгаа хэсгийн 3 цэг сонгон авч тусгалын болон хугарлын өнцгийг тэмдэглэн хоорондоо ямар холбоотой байгааг ажиглаарай.





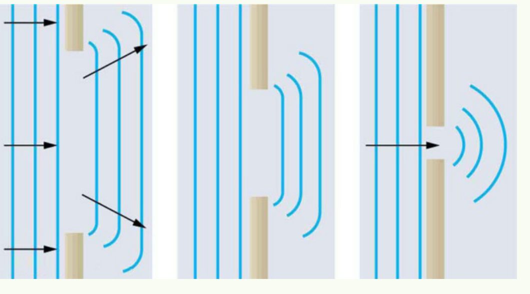
Зураг 9.

Туршилт: Долгион саадыг яаж тойрдог вэ?

Хэрэглэгдэх зүйл: Долгионы тэвш

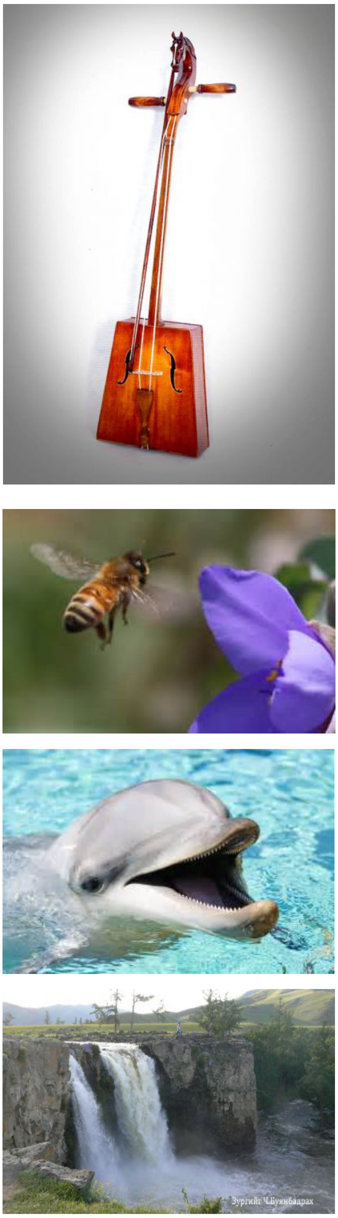
Гүйцэтгэх дараалал:

1. Долгионы тэвшинд ус хийж тэгш гадарга дээр байрлуулна.
2. Шугам ашиглан хавтгай долгион үүсгэнэ.
3. Хавтгай долгион тархах замд 5 см завсар тавьж долгион хэрхэн тархахыг ажиглана.
4. Завсрын хэмжээг 2 см, 1 см болгон багасгаж долгионы тархах байдлыг ажиглана.
5. Долгионы тархалт хэрхэн өөрчлөгдөж байгаа талаар харилцан ярилцан дүгнэлт гаргана.



Зураг 10.

Дүгнэлт. Завсар харьцангуй өргөн байхад завсраар хязгаарлагдсан шулуун долгионууд тархаж байгаа нь харагдаж байна. Завсрыг улам нарийн, долгионы урттай ойролцоо хэмжээтэй болгоход завсар дээр төвтэй тойрог долгион болж цааш тархдаг. Ийм үзэгдлийг долгионы дифракц гэдэг.



Зураг 11.

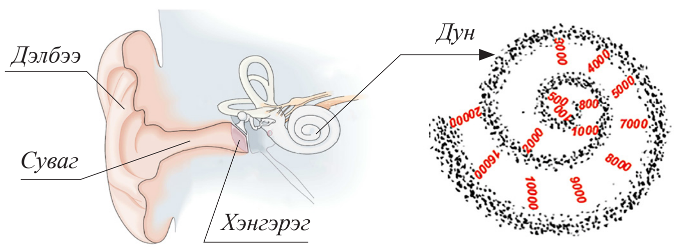
Дууны долгион

Тархаж байгаа долгионы нэг жишээ бол дууны долгион юм. Энэ хэсэгт бид дууны долгион хэрхэн үүсдэг, яаж тархдаг, ямар шинж чанартай, түүнийг хүмүүс яаж хэрэглэдэг талаар судална.

Сэргээн санацгаая.

Бид 7-р ангидаа дуу чичирхийлж байгаа биеэс гардаг болохыг мэддэг болсон.

Дууны долгионыг инфра авиа, дуу, ультра авиа гэж ангилдаг. Хүний чих зөвхөн сонсогдох мужийн дууны долгионыг сонсдог. Хүний сонсох чадвар ямар байдаг бол? Энэ талаар өмнө үзсэн зүйлээ сэргээн санацгаая (Зураг 12). Хүн ойролцоогоор 20-20000 Гц давтамжтай дууг сонсож чадна. Давтамжийн энэ завсрыг сонсох муж гэдэг. Сонсох мужийн давтамжаас бага эсвэл их давтамжтай дууг хүн сонсож чадахгүй. Харин зарим амьтад жишээлбэл нохой 50 000 Гц, сарьсан багваахай 100 000 Гц хүртэл давтамжтай дууг сонсож чадна.



Зураг 12. Чихний бүтэц.

Дуу хүний чихэнд хүрэхэд чихний хэнгэрэг хэлбэлзэнэ. Дотоод чихэн дэх 20000 гаруй утас хэлбэрийн мэдрүүлийн төгсгөл механик хэлбэлзлийг цахилгаан дохио болгон хувиргаж уураг тархи руу дамжуулснаас хүн дууг сонсоно. Мэдрэлийн ширхгээр дохио дамжихад хүний уураг тархинд сонсох мэдрэмж үүсдэг.

Сарьсан багваахай өмнөө байгаа хорхой шавж болон бусад биеийн байгаа чиглэл байрлалыг ультра дуу цацруулан тодорхойлдог. Ультра дуу ойрхон байгаа биеэс ойход сарьсан багваахай түүнийг чихээрээ хүлээн авч хорхой шавжийн байрлалыг тодорхойлж чаддаг.

- Дууны үүсгүүр
- Дууны долгион тархах
- Дууны долгионы шинж чанар
- Дууны долгионы хэрэглээ

Туршилт: Хүний чихний сонсох хязгаарыг тогтооцгооё.
Хэрэглэгдэх багаж: дууны генератор, чанга яригч. Анхаарах зүйл: Туршилтыг нэг дор олон дахин давтаж хийвэл чихний сонсгол муудах аюултай.
Гүйцэтгэх дараалал:

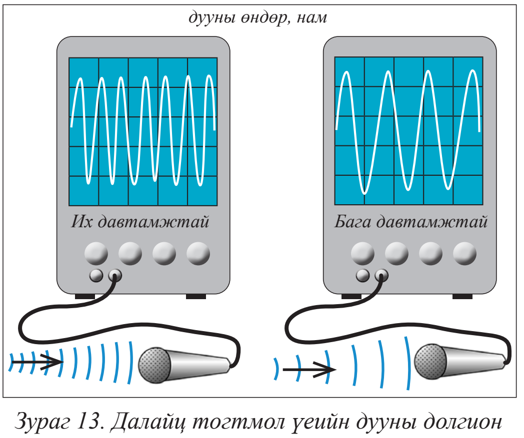
1. Дууны генераторыг чанга яригчид холбоно. Чанга яригчийг хүүхдүүд рүү харуулан байрлуулна.
2. Туршилт хийхэд багшид туслах 1-2 сурагчийг сонгоно. Ангийн цонхыг хааж хүүхдүүд аль болох анхаарлаа төвлөрүүлэн ижил зайд чимээгүй сууна.
3. Багш дууны генераторын гаралтын давтамжийг 10 Гц-ээс 30 Гц хүртэл 2 Гц-ийн алхмаар аажим нэмэгдүүлнэ.
4. Дуу сонсогдмогц хүүхэд гараа чимээгүй өргөнө.
5. Ямар давтамжийн үед хэдэн хүүхэд гар өргөж байгааг туслах сурагч самбарт тэмдэглэнэ.
6. 30 Гц-ээс 20000 Гц хүртэл 100 Гц-ийн алхамтайгаар дууны давтамжийг нэмэгдүүлнэ.
7. Бүх хүүхэд дууг сонсохгүй болох хүртэл нэмэгдүүлсний дараа сонсох хязгаарын орчимд давтамжийн алхмыг багасган ямар давтамжийн үед хэдэн хүүхэд сонсохгүй байгааг самбарт нарийвчлан тэмдэглэнэ. Хүүхдүүд сонсож чадахгүй болсон үедээ гараа өргөнө.

Дууг дүрслэн харуулах

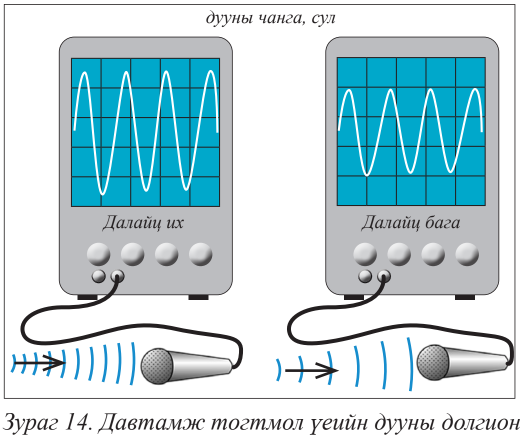
Дууны долгионыг микрофон ба осциллоскоп төхөөрөмж ашиглан дэлгэц дээр дүрслэн харуулж болно. Дууны долгион микрофонд ирэхэд доторх металл эсвэл талст хавтан хэлбэлздэг. Микрофон хэлбэлзлийг цахилгаан хэлбэлзэл болгон хувиргана. Цахилгаан дохиог дэлгэц дээр графикаар харуулдаг багажийг осциллоскоп гэнэ.

Туршилт: Осциллоскопоор дууны долгионы шинж чанарыг судлах
Хэрэглэгдэх зүйлс: Осциллоскоп, микрофон, дууны генератор
Гүйцэтгэх дараалал:

1. Осциллоскопыг асааж микрофон холбоно.
2. Дууны генераторыг асааж генераторын гаралтыг осциллоскоптой холбоно.
3. Генератороор дууны далайцыг тогтмол байлгаж давтамжийг өөрчлөн янз бүрийн давтамжтай дууны долгионы осциллоскопын дэлгэц дээрх графикийн өөрчлөлтийг ажиглана.
4. Дууны давтамжийг хэвээр байлган далайцыг нь өөрчлөн дууны долгионы графикийн өөрчлөлтийг ажиглана.
5. Ажиглалтын үр дүнгийн талаар харилцан ярилцаж дүгнэлт гаргана.



Зураг 13. Далайц тогтмол үеийн дууны долгион



Зураг 14. Давтамж тогтмол үеийн дууны долгион

Дууны шинж чанар

Дууны долгион нь өндөр нам, чанга сул, өнгө хэмээх гурван шинж чанараар тодорхойлогдоно.
Давтамж их байх тусам дуу өндөр байдаг.

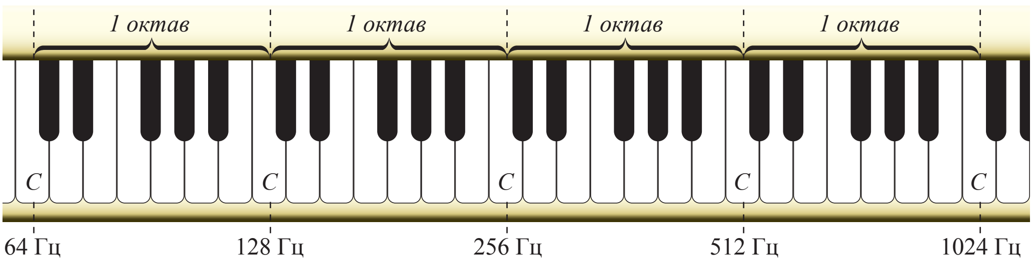
Хүснэгт 1. Дууны өндөр, нам

Өндөр		давтамж
↓	Хамгийн өндөр дуу	20000 Гц
	Шүглийн дуу	10000 Гц
	Цээл дуу	1000 Гц
	Аргил дуу	100 Гц
Нам	Бөмбөрийн дуу	20 Гц

Хүснэгт 2. Дууны эрчмийн түвшин

	дБ	
Пуужин хөөрөх	180	Өвдөлт
Ёслолын буудлага	160	
Онгоц хөөрөх	150	
Рок концерт	140	
Хүүхэд уйлах	110	Шуугиантай
Хаалганы хонх	80	Ердийн
Энгийн яриа	50	Чимээ бага
Цагны дуу	20	Чимээ маш бага
Сонсогдох хязгаар	0	

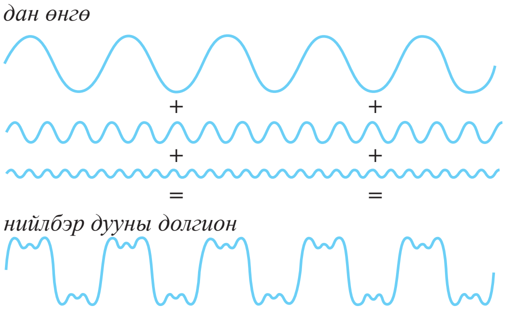
Хөгжмийн эгшиг нэг октав дээшлэхэд давтамж хоёр дахин ихэсдэг.



Зураг 15.

Дууны чанга сул далайцаар тодорхойлогдоно. Далайц их байх тусам дуу чангарна. Нөгөө талаас долгион тархахад энерги зөөгдөнө. Дууны долгионы зөөгдөж буй энергийн хэмжээг буюу долгионы эрчмийн түвшинг децибел нэгжээр илэрхийлж дБ гэж тэмдэглэнэ. Энэ нь нэгж талбайгаар нэгж хугацаанд өнгөрөх долгионы энергийг илэрхийлнэ. Хүний сонсож чадах хамгийн бага дууны эрчмийн түвшин (1000 Гц давтамжтай дууны) 0 дБ-тэй тэнцүү бөгөөд энэ нь 10^{-12} Вт/м^2 байна. Дууны эрчмийн түвшинг 20 децибелээр нэмэгдүүлэхэд дуу 100 дахин хүчтэй болно.

Дууны өнгө нь долгионы бүтцээс хамаарна. Дуу нь дан болон хэд хэдэн долгионоос нийлж тогтсон байдаг (Зураг 16). Жишээлбэл төгөлдөр хуурын до, гитарын до өнгө хоёр өөр сонсогддог нь тэдгээрт үндсэн давтамжаас гадна өөр давтамжтай долгион холилдсон байдагтай холбоотой.



Зураг 16.

Дууны долгион хэрхэн тардаг вэ?

Чанга яригчийн конус хэлбэлзэхэд орчин тойрных нь агаар агшиж тэлж эхэлнэ. Ингээд агаарт даралт их (нягтаршсан) хэсэг болон даралт бага (сийрэгжсэн) хэсгүүд бий болно. Улмаар дуу агаарт тууш долгион хэлбэртэй тархана (Зураг 17).

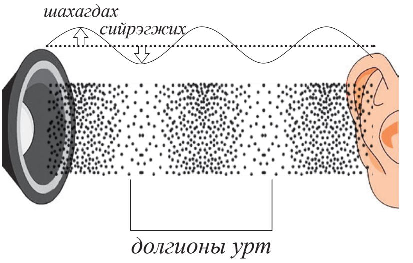
Дууны хурд

Агаарын температур их байхад тархах дууны хурд их байна. 1 атм. даралт, t°(°C) температуртай агаарт тархах дууны хурдыг дараах тэгшитгэлээр илэрхийлнэ.

$$\upsilon = 331.5 + 0.6t° \text{ (м/с)}$$

Дуу агаараас бусад орчинд ч тархаж чадна. Жишээлбэл дуу усанд агаарт тархахаас ойролцоогоор 5 дахин илүү хурдтай тархана. Вакуум орчинд хэлбэлзэх хэсэг байхгүй учир дуу тархахгүй.

Бодис	Агаар, 0°C	Агаар, 30°C	Ус, 0°C	бетон	ган
Хурд, м/с	330	350	1400	5000	6000



Зураг 17. Агаарт тархах дуу туущ долгион юм

Дуу ойх ба цуурай

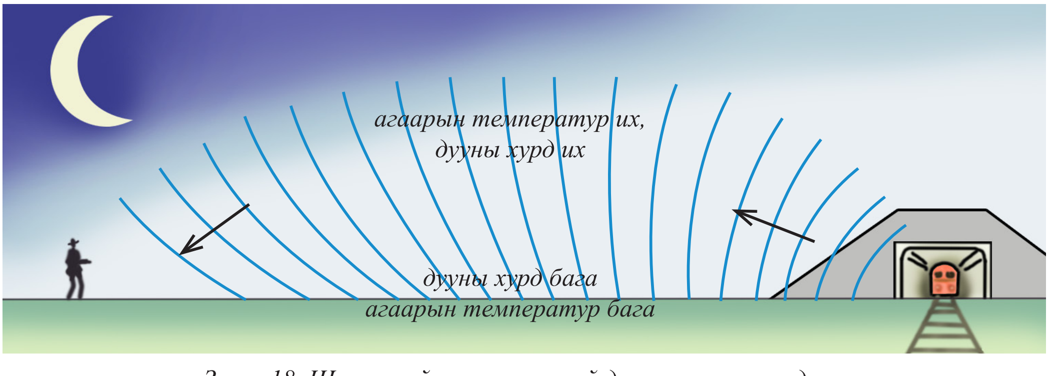
Уул руу хашгирахад буцаад сонсогддог. Үүнийг бид цуурай гэдэг. Цуурай сонсогдох нь тархаж байгаа дууны долгион ямар нэг хатуу биеийн гадаргаас ойж байгаатай холбоотой. Дуу хананаас ойлтын хуулийн дагуу ойсон чиглэлд илүү тод сонсогдоно. Концертын танхимд цуурай үүсэх нь таагүй мэдрэмж төрүүлэх учир танхимын хана, сандал зэргийг дуу ойлгодоггүй материалаар бүрдэг. Дууны ойлт буюу цуурайг ашиглан ямар нэг биетийн байршил, зай тодорхойлогч төхөөрөмжүүд хийдэг.

Дууны хугарал ба дифракц

Долгион хугардаг талаар өмнө хэсэгт үзсэний дагуу долгион нь нэг орчноос нөгөөд нэвтэрч тархахдаа чиглэлээ өөрчлөх буюу хугардаг. Эсвэл адилхан орчин боловч ялгаатай температуртай бол долгион тархахдаа чиглэлээ өөрчилнө. Дуу тархахдаа мөн ийм шинж чанартай (Зураг18).

Шөнө орой болоход газрын хөрс түргэн хөрж газрын гадарга орчмын агаарын температур нам (дууны хурд бага) харин дээшлэх тусам температур өндөр (дууны хурд их) байдаг. Газрын гадаргаас ташуу чиглэлд тарсан дуу тархах тусмаа муруйж газар руу чиглэдэг. Иймээс дуу холоос гарч байгаа боловч тод сонсогддог ажээ.

Өөрөө харагдахгүй мөртөө ханаы цаанаас дуу нь сонсогдох тохиолдол байдаг. Мөн ангид хамгийн урд суудаг хүүхэд самбар руу хараад ярьсан ч арын хүүхдүүдэд яриа нь сонсогддог. Энэ нь дууны долгион тархахдаа замдаа байгаа саадыг тойрч гардагтай холбоотой юм. Дууны долгионы урт 1.7 см-ээс 17 м-ийн хооронд байдаг тул энэ хэмжээний саадыг тойрон гарч чаддаг байна.



Зураг 18. Шөнө орой галт тэрэгний дуу холоос сонсогдоно

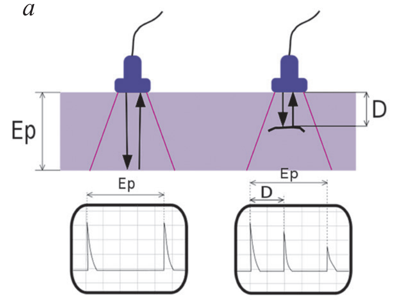
Инфра ба ультра дууг хэрэглэх

Инфра дуу нь 20 Гц-ээс бага давтамжтай дуу бөгөөд хэт нам дуу гэж мөн нэрлэнэ. Халим, заан гэх мэт амьтад хоорондоо инфра дуу ашиглан алс зайнаас «ярилцаж» ойлголцдог байна. Байгаль дээр цахилгаан цахих, салхи салхилах, галт уул дэлбэрэх, хүрхрээ, газар хөдлөлт зэрэг байгалийн үзэгдлээс инфра дуу гарна. Тиймээс газар хөдлөлийн долгионыг бүртгэх замаар хянах боломжтой байдаг байна.

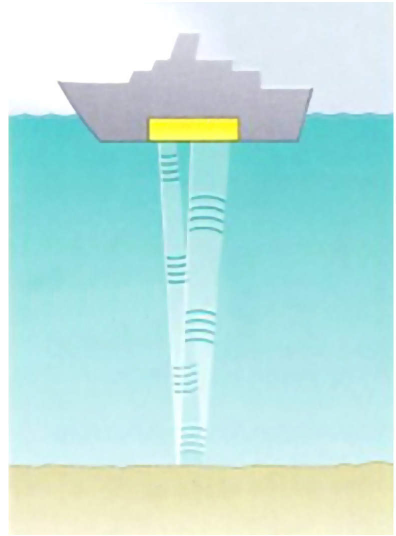
Ультра дуу нь 20 кГц-ээс их давтамжтай дууг хэлэх бөгөөд ихэвчлэн биетийг илрүүлэх, зайг хэмжихэд хэрэглэнэ. Жишээлбэл үл эвдэх сорилд материалын доторх эвдрэлийг илрүүлэх (Зураг 19а), далайн гүнийг хэмжих (Зураг 19б), хүний биеийн бүтцийг зураглахад (Зураг 19в) хэрэглэнэ.

Тодорхой чигт ультра дууг явуулахад ультра дуу замдаа таарсан саадаас ойж буцаж бүртгэгдэнэ. Дуу бүртгэгдсэн хугацааг ашиглан саад хүртэлх зайг тооцоолно.

а



б

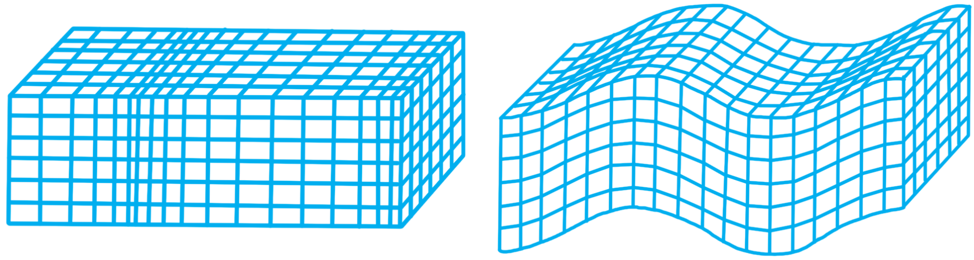


Зураг 19.

Газар хөдлөлийн долгион

Газар хөдлөхөд туушдолгион (Р долгион), хөндлөн долгион (S долгион) газраар тархаж эхэлнэ. Тархах долгионы хурд хөрсний шинж чанараас хамааран 3 км/с-ээс 13 км/с байна. Энэ хоёр долгионыг бүртгэснээр газар хөдлөлийн төвийг тогтоох боломжтой болно. S долгионы хор нөлөө Р долгионыхоос их байна. Учир нь Р долгион тархаж байгаа чиглэлийнхээ дагуу газрыг агшааж, сунгадаг бол S долгион газрыг дээш доош, урагш хойш хөдөлгөнө (Зураг20).

P долгион *S долгион*



Зураг 20. S ба P долгион

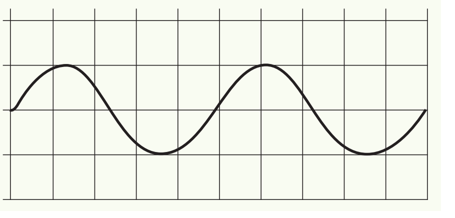
Өөрийгөө сориорой

Агаарт тархах дууны хурдыг 330 м/с гэж үзээд дараах бодлогыг бодоорой.

1. A: 400 Гц B: 150 Гц C: 500 Гц D: 200 Гц давтамжтай дуунууд байв.
   а. Аль дуу нь өндөр дуу вэ?
   б. Аль хоёр дуу нэг октавын ялгаатай вэ?
   в. Аль дуу долгионы урт ихтэй вэ?

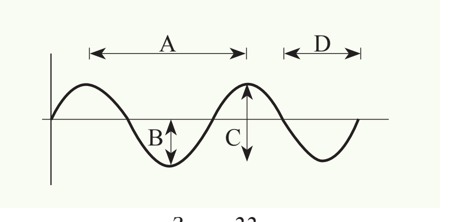
2. Төгөлдөр хуур, гитар хоёроор ижил ноот тоглож байхад яагаад яг ижил дуугардаггүй вэ?

3. Осциллоскопын дэлгэц дээрх дууны долгионы график байна (Зураг 21).
   а. Ижил давтамжтай илүү чанга дууны долгионы графикийг дэвтэртээ зураарай.
   б. Дэлгэц дээрх нэг дөрвөлжингийн хөндлөн урт 0.02 с хугацааг илэрхийлж байгаа бол
      i Дуу үүсгэгчийн давтамжийг ол.
      ii Агаарт тархах дууны долгионы уртыг ол.



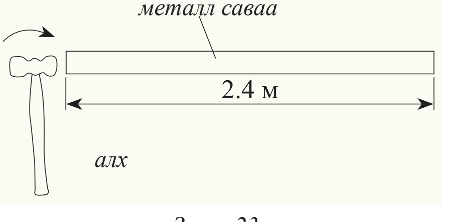
Зураг 21.

4. Агаарт тархаж буй дууны долгионыг 22-р зурагт харуулав. A, B, C, D дотроос аль нь
   i долгионы уртыг илэрхийлэх вэ?
   ii далайцыг илэрхийлэх вэ?



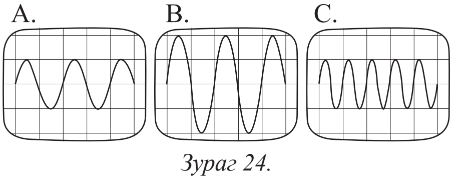
Зураг 22.

5. 2.4 м урт саваны нэг үзүүр рүү хөнгөн алхаар огцом цохив. Алхаар цохисноос хойш саваны нөгөө үзүүрт дууны долгион хүрэх хугацааг электрон багажаар хэмжив. 4 хэмжилтэд 0.44 мс, 0.50 мс, 0.52 мс ба 0.47 мс хугацаанууд бүртгэгджээ (Зураг 23).
   I. 4 хэмжилтийн дундаж хугацааг ол.
   II. Саваанд дуу тархах хурдыг ол.



Зураг 23.

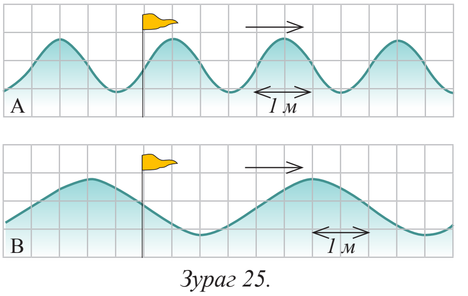
6. Осциллоскопын микрофонд A, B, C гурван өөр дуу өгч осциллоскопын дэлгэцэнд долгионы зургийг гаргаж авчээ (Зураг 24).
   а. A ба B дуунууд ямар ялгаатай вэ?
   б. A ба C дуунууд ямар ялгаатай вэ?
   в. Аль дуу хамгийн их далайцтай вэ?
   г. Аль дуу хамгийн их давтамжтай вэ?
   д. Дууны хурд 330м/с. A дуу 220 Гц давтамжтай бол долгионы уртыг тодорхойл
   е. C дууны давтамж хэд вэ?



Зураг 24.

7. Зураг 25-ын A долгионы уртыг ол. Дарцгийн дэргэдүүр 1 с хугацаанд 2 бүтэн долгион өнгөрсөн бол үе, давтамж, долгионы уртыг ол.

8. Усны гадарга дээрх B долгионыг зураг 25-д харуулав.
   а. Тууш долгион уу, хөндлөн долгион уу?
   б. Долгионы урт хэчнээн вэ?
   в. Долгионы далайцыг ол.



Зураг 25.

Бүлэг 4
Цахилгаан соронзон

1. ЭЛЕКТРОН СИСТЕМ

Орчин үеийн мэдээллийн технологи, автоматжуулалтын үсрэнгүй хөгжил нь электроникийн өндөр хөгжлийн үр дүн билээ. Электроник гэдэг нь электроныг удирдахуй гэсэн утгатай үг бөгөөд электроныг удирдан жолоодсоноор цахилгаан гүйдэл болон хүчдэлийн далайц, давтамж, фаз гэх мэт физик параметрүүдээр дамжуулан мэдээ, мэдээлэл боловсруулж, ямар нэгэн үйлдэл гүйцэтгэдэг төхөөрөмж буюу системийг бий болгодог ухаан юм. Үйлдэл гэдэгт дуу чимээ, дүрст мэдээлэл гаргах, гэрэл чийдэн болон цахилгаан хөдөлгүүр асаах, унтраах гэх мэт олон үйлдлүүдийг нэрлэж болно. Электроникийн ухаанаар бий болсон төхөөрөмжийг электрон систем гэнэ. Жишээлбэл хамгийн энгийн радио хүлээн авагчийг аваад үзье. Тэрбээр нэвтрүүлэх станцаас цацсан цахилгаан соронзон долгионыг антеннаараа хүлээн авч цахилгаан хэлбэлзэл болгон хувиргаад, түүнийг давтамжаар нь ялган шүүж хүний чих сонсохуйц давтамжтай цахилгаан хэлбэлзлийг нь ялгана. Улмаар тухайн цахилгаан хэлбэлзлийг хүний хүссэн хэмжээнд хүртэл өсгөөд цахилгаан хэлбэлзлийг механик хэлбэлзэлд хувиргадаг чанга яригч төхөөрөмжид өгснөөр дуу чимээг алсад дамжуулан сонсгодог.

Аливаа электрон систем үндсэн гурван хэсгээс бүтдэг. Үүнд: (1) мэдрэгч хэсэг, (2) боловсруулагч хэсэг, (3) гаралтын хэсэг болно.

Электрон системийн бүтэц.

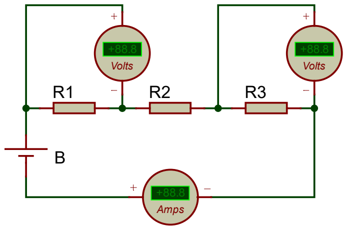
Өмнө дурдагдсан радио хүлээн авагчийн мэдрэгч нь түүний антенн, боловсруулагч нь давтамжийн шүүлтүүр болон өсгөгч, гаралт нь чанга яригч байна.

Мэдрэгч нь ямар нэгэн физик хэмжигдэхүүнийг цахилгаан хэмжигдэхүүн болгон хувиргана. Тухайлбал температураас хамааран цахилгаан эсэргүүцэл нь өөрчлөгддөг цахилгаан элементийг терморезистор гэж нэрлэдэг. Хэрэв терморезисторт тогтмол хүчдэл өгвөл температураас хамаарч эсэргүүцэл нь өөрчлөгдсөнөөр түүгээр гүйх гүйдэл өөрчлөгдөнө. Эсвэл түүнд ямар ч нөхцөлд хэмжээ нь өөрчлөгддөггүй тогтмол гүйдэл өгвөл эсэргүүцэл нь өөрчлөгдсөнөөр түүн дээр унах хүчдэл өөрчлөгдөнө. Тэгвэл температур мэдэрдэг терморезисторт тогтмол гүйдэл өгөөд түүн дээр унах хүчдэлийн хэмжээг боловсруулагч хэлхээний тусламжтай хянах замаар тодорхой утганд хүрмэгц гаралтын хэсгээр дамжуулан халаагч залгадаг, салгадаг төхөөрөмж хийж болно. Үүнийг цахилгаан термостат гэж нэрлэдэг. Түүнийг өрөөний температур эсвэл загасны аквариумын температурыг тогтмол утгатай байлгах автомат болгон ашиглаж болно. Энэ тухай бид тодорхой жишээн дээр үзэх болно.

Электрон хэлхээнүүд

Электрон систем үндсэн гурван хэсгээс бүтдэг гэдгийг өмнө дурдсан. Тэгвэл энэ бүлэгт тухайн үндсэн хэсгүүдийг бүрдүүлдэг цахилгаан хэлхээнүүдийн талаар үзэх болно. Ингэхийн өмнө цахилгаан хэлхээний талаар үндсэн ойлголтуудаа бататгах хэрэгтэй.

Резистор бол цахилгаан хэлхээний үндсэн элементүүдийн нэг юм. Бид Омын хуулийг үзсэн. Цуваа холбогдсон гурван резистор болон үүсгүүртэй хэлхээ авч үзье. Хэлхээний цахилгаан хуулиудыг шалгахын тулд түүнд вольтметр болон амперметрийг холбожээ.

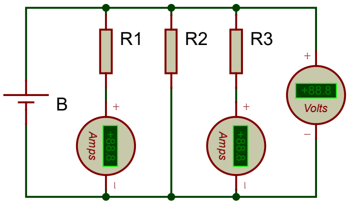


Зураг 1. Үүсгүүрт холбогдсон цуваа резисторууд

Туршилт 1: Зураг 1–д үзүүлсэн хэлхээг угсарч, резистор бүр дээр унах хүчдэлийг хэмж.

Үүнийг ашиглан цуваа холбогдсон резисторууд дээр унах хүчдэлийн ямар шинжийг илрүүлэх боломжтой вэ?

Ийм хэлхээний үүсгүүрийн хүчдэл нь резистор тус бүр дээр хуваагддаг байна. Электрон хэлхээ нь ямар нэгэн үүсгүүрээс тэжээгдэн ажилладаг бөгөөд тухайн төхөөрөмж дотор хэрэглэгдэх өөр өөр хүчдэлүүдийг ийм хэлхээгээр бий болгодог. Үүнийг **хүчдэл хуваагч хэлхээ** гэж нэрлэдэг.



Зураг 2. Үүсгүүрт холбогдсон зэрэгцээ резисторууд

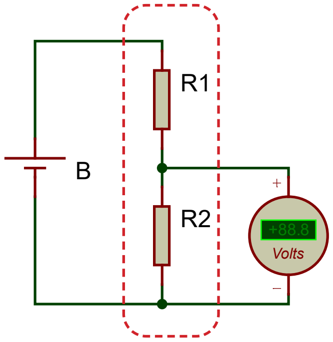
Зэрэгцээ холбогдсон резисторууд бүхий хэлхээ авч үзье.

Туршилт 2: Зураг 2–т үзүүлсэн хэлхээний резистор бүрээр гүйх гүйдлийн хүчийг хэмж.

Үүнийг ашиглан зэрэгцээ холбогдсон резисторууд дээр гүйдлийн хүч хэрхэн хувиарлагддагийг илрүүлэх боломжтой вэ?

Ийм хэлхээний үүсгүүрийн гүйдэл нь резистор тус бүрээр салаалах буюу хуваагддаг байна. Электрон хэлхээн дотор хэрэглэгдэх өөр өөр гүйдлүүдийг ийм хэлхээгээр бий болгодог. Энэ хэлхээг **гүйдэл хуваагч хэлхээ** гэж нэрлэдэг.

Хялбар хүчдэл хуваагч хэлхээг хоёр резистор ашиглан хийдэг (Зураг 3). Хүчдэл хуваагч хэлхээг тасархай улаан шугамаар хүрээлсэн байна. Хүчдэл хуваагч хэлхээний оролтод үүсгүүрээс хүчдэл өгсөн байна. Тэгвэл түүний гаралт буюу R_2 резистор дээрх хүчдэл нь

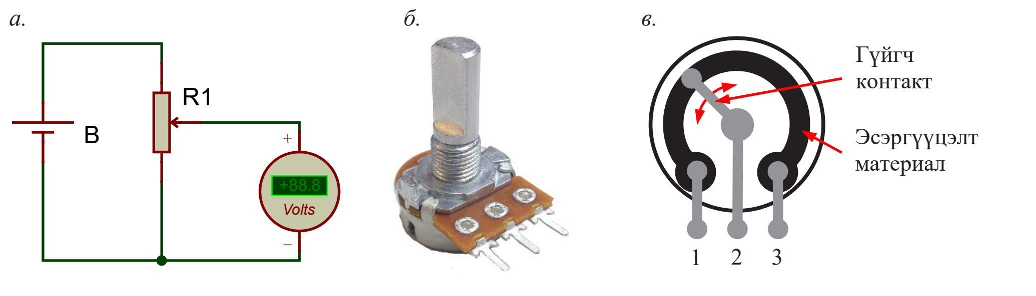


Зураг 3. Хүчдэл хуваагч хэлхээ

$$V_{R2} = I \cdot R_2 = \frac{V_B}{R} R_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_B$$

$$V_{R2} = K \cdot V_B; \qquad K = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Энд K коэффицентийг **хүчдэл хуваагчийн коэффицент** гэж нэрлэнэ.



Зураг 4. Хүчдэл хуваарилагч потенциометр. а. Цахилгаан хэлхээний тэмдэглэгээ б. Потенциометрийн гадаад байдал. в. Потенциометрийн дотоод бүтэц

Хувьсах резистор буюу потенциометрийг ашиглан хүчдэл бууруулагч хийдэг (Зураг 4). Потенциометрийн гүйгч контактыг дээшлүүлэн хамгийн дээд цэгт хүргэвэл хүчдэл хуваагчийн резисторын эсэргүүцлийг дээд утгатай тэнцүү болгоно. Энэ үед нэвтрүүлэх коэффицент $K = 1$ болж потенциометрийн оролтын хүчдэл гаралтад шууд гарна. Хэрэв гүйгч контактыг хамгийн доод цэгт хүргэвэл хүчдэл хуваагчийн резисторын эсэргүүцлийн доод утга тэгтэй тэнцүү буюу нэвтрүүлэх коэффицент $K = 0$ болж потенциометрийн гаралтын хүчдэл тэг болно. Ийм хэлхээний хамгийн энгийн хэрэглээ бол дууны өсгөгчийн чанга сул дуугаралтыг тохируулах үйлдэл юм.

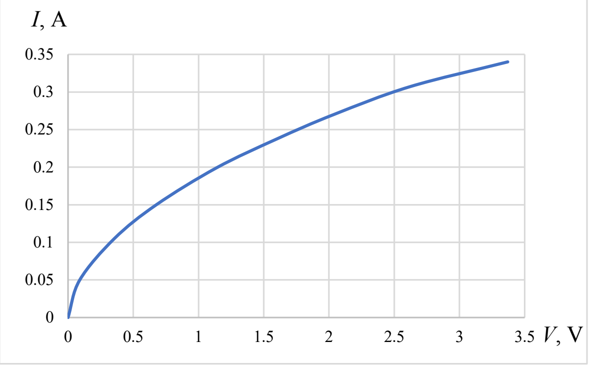
Одоо электрон системийн бүрдэл хэсэг болох мэдрэгч хэлхээг хэрхэн үүсгэхийг үзье. Мэдрэгч хэлхээг ойлгохын өмнө ямар нэгэн физик хэмжигдэхүүн нь тухайн физик үзэгдлээс хамааран өөрчлөгддөг мэдрэгч элементийг таних хэрэгтэй. Ийм элементүүд олон төрөл байдаг боловч бид тэдгээрээс температур мэдрэгч терморезистор, гэрэл мэдрэгч фоторезисторуудыг сонгон авч үзье. Терморезисторыг хийх физик үндэс нь дурын дамжуулагч материалын хувийн эсэргүүцэл температураас хамаарч өөрчлөгдөх үзэгдэл юм.

$$\rho(T) = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$

Энд $\rho(T)$ нь тухайн T температур дахь материалын хувийн эсэргүүцэл, ρ_0 нь T_0 температур дахь материалын хувийн эсэргүүцэл юм. Харин α нь тухайн материалын температурын коэффицент болно. Материал бүр өөр өөр температурын коэффиценттэй байдаг.

Материалын нэр		Хувийн эсэргүүцэл ρ (Ω · м)	Температурын коэффицент α (°C^{-1})
Мөнгө	Ag	$1.59 \cdot 10^{-8}$	$3.8 \cdot 10^{-3}$
Зэс	Cu	$1.7 \cdot 10^{-8}$	$3.9 \cdot 10^{-3}$
Алт	Au	$2.44 \cdot 10^{-8}$	$3.4 \cdot 10^{-3}$
Хөнгөн цагаан	Al	$2.82 \cdot 10^{-8}$	$3.9 \cdot 10^{-3}$
Вольфрам	W	$5.6 \cdot 10^{-8}$	$4.5 \cdot 10^{-3}$
Төмөр	Fe	$10 \cdot 10^{-8}$	$5.0 \cdot 10^{-3}$
Цагаан алт	Pt	$11 \cdot 10^{-8}$	$3.92 \cdot 10^{-3}$
Хар тугалга	Pb	$22 \cdot 10^{-8}$	$3.9 \cdot 10^{-3}$
Нихром	NiCr	$1.00 \cdot 10^{-8}$	$0.4 \cdot 10^{-3}$
Нүүрстөрөгч	C	$3.5 \cdot 10^{-8}$	$-0.5 \cdot 10^{-3}$
Германий	Ge	0.46	$-48 \cdot 10^{-3}$
Цахиур	Si	$2.3 \cdot 10^{3}$	$-75 \cdot 10^{-3}$

Хүснэгтээс харахад температурын коэффицент эерэг, сөрөг хоёр янз байна. Бүх металлууд халах тусам электроны эмх замбараагүй хөдөлгөөн ихэссэнээс болж эсэргүүцэл нь ихэсдэг учир температурын коэффицент нь эерэг байдаг. Харин нүүрстөрөгч, германий, цахиур гэх элементүүд нь хагас дамжуулагч материалууд бөгөөд халах тусам валентын электронууд нь атомаасаа сугарч дамжуулалтад оролцсоноор эсэргүүцэл буурдаг буюу сөрөг температурын коэффиценттэй байна.



Зураг 5. Улайсах чийдэнгийн хүчдэл-гүйдлийн хүчний хамаарал

Улайсах чийдэнгийн гэрэл гаргадаг утсыг вольфрам буюу гянтболдоор хийдэг. Ийм чийдэнгээр гүйдэл гүйж асах үед температур нь ихэссэнээр эсэргүүцэл нь ихэсдэг. Улайсах чийдэнгээр гүйх гүйдлийг өөрчлөх замаар температурыг нь өөрчлөн түүн дээр унах хүчдэл болон гүйдлийн хүчний хамаарлыг гаргаж авч болно. Туршилтын үр дүнгээс энэхүү графикийг байгуулав.

Дасгал Улайсах чийдэнгийн утсыг вольфрам (графикийг тухайн мужид бараг шулуун) гэж үзээд түүний 0.5 V болон 2.5 V хүчдэлд асаж байсан үеийн температурын зөрүүг олоорой.

Хувийн эсэргүүцэл температурын хамаарлын томьёонд хувийн эсэргүүцэл өгөгдсөн боловч хувийн эсэргүүцлийн харьцангуй өөрчлөлт эсэргүүцлийн харьцангуй өөрчлөлттэй тэнцүү гэж үзэж болно.

$$\frac{R}{R_0} = \frac{\rho}{\rho_0} = 1 + \alpha \cdot \Delta T$$

Даалгавар 1: Эндээс температурын өөрчлөлтийг олох томьёог гарга.

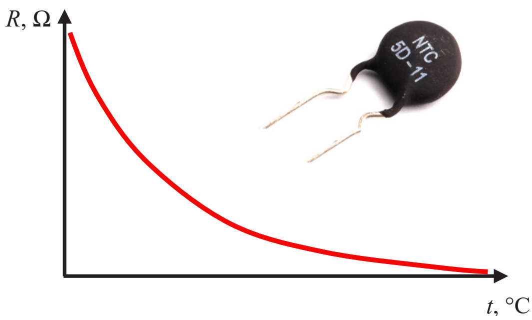
Даалгавар 2: Графикаас 0.5 V үед гүйдлийн хүч 0.125 A болон 2.5 V үед гүйдлийн хүч нь 0.3 A байсан гэж үзээд улайсах утасны эсэргүүцлийг тодорхойл.

Даалгавар 3: Эсэргүүцлийн харьцангуй өөрчлөлтийг тодорхойл.

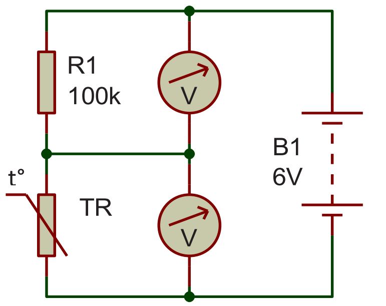
Даалгавар 4: Чийдэнгийн улайсах утасны температурын өөрчлөлтийг тооцоол.

Сөрөг температурын коэффицент бүхий терморезистор

Хагас дамжуулагч материал сөрөг температурын коэффициенттэй байдгийг өмнө үзсэн. Тиймээс хагас дамжуулагч материалаар хийсэн дулаан мэдрэгч терморезистор (заримдаа товчоор термистор) сөрөг температурын коэффициенттэй байдаг. Өөрөөр хэлбэл температур өсөхөд эсэргүүцэл нь буурна. Ийм төрлийн термисторыг NTC буюу negative thermal coefficient гэж тэмдэглэдэг (Зураг 6).



Зураг 6. NTC термистор ба түүний температур эсэргүүцлийн хамаарал



Зураг 7. Терморезистор бүхий температур мэдрэгч хэлхээ

Дасгал Термисторын эсэргүүцэл температураас хэрхэн хамаарч өөрчлөгдсөнийг хэмжсэн хэмжилтийг хүснэгтэд харуулав. Уг хэмжилтээр термисторын температур-эсэргүүцлийн хамаарлын график байгуул.

t, °C	*R*, Ω	*t*, °C	*R*, Ω
0	6200	50	830
5	4900	60	600
10	3900	70	450
20	2600	80	330
30	1750	90	240

Хэрэв термисторыг хүчдэл хуваагч хэлхээнд холбовол эсэргүүцэл дээрх хүчдэл температураас хамаарч өөрчлөгддөг. Учир нь хүчдэл хуваагчийн аль нэг эсэргүүцэл өөрчлөгдвөл хэлхээний гүйдлийн хүч өөрчлөгдөж улмаар эсэргүүцэл бүр дээр унах хүчдэл өөрчлөгдөнө. Зураг 7-д үзүүлсэн хэлхээг **температур мэдрэгч хэлхээ** гэнэ.

Температур өсөхөд термисторын эсэргүүцэл буурч, түүн дээрх хүчдэл буурна. Харин дээд хэсэгт байгаа тогтмол резистор дээрх хүчдэл өснө.

Дасгал Температур мэдрэгч хэлхээний үүсгүүрийн хүчдэл V_{B1}=6 V, R_1=10 kΩ, температур 20°C байсан бол термистор дээрх болон R_1 резистор дээрх хүчдэлийг тодорхойл.

Даалгавар 1: Термисторын эсэргүүцлийг графикаас тодорхойл.

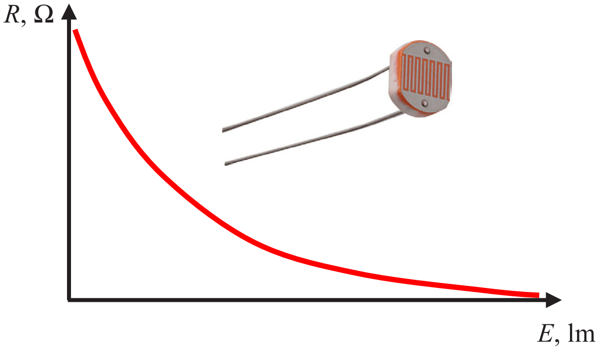
Даалгавар 2: Температур мэдрэгч хэлхээ нь хүчдэл хуваагч хэлхээ тул 20°C температурын үед түүний нэвтрүүлэх коэффициентийг тодорхойл.

Даалгавар 3: Тухайн үед термистор дээрх хүчдэлийг тодорхойл.

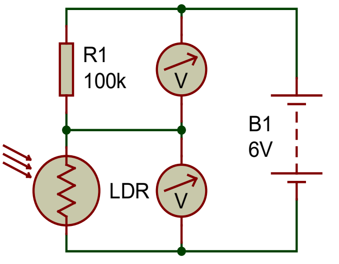
Даалгавар 4: R_1 резистор дээрх хүчдэлийг тодорхойл.

Гэрэл мэдрэгч фоторезистор

Хагас дамжуулагч материалын атомууд гэрэлтэй харилцан үйлчлэлцсэнээр валентын электронууд атомаасаа сулран гүйдэлд оролцож эсэргүүцэл нь буурдаг (Зураг 8). Өөрөөр хэлбэл температур мэдэрдэг зарчимтай яг адилхан процесс юм. Гэрэл ч гэсэн дулааны үзэгдэлтэй адилхан атомуудад энерги өгдөг гэсэн үг. Ийм материалаар атомуудад гэрэл нөлөөлөхүйц хийсэн элементийг гэрэл мэдрэгч фоторезистор гэж нэрлэдэг. (*LDR – light dependent resistor*)



Зураг 8. Фоторезистор ба түүний гэрэлтэлт эсэргүүцлийн хамаарал



Зураг 9. Фоторезистор бүхий гэрэл мэдрэгч хэлхээ

Дасгал Фоторезисторын эсэргүүцэл гэрэлтэлтээс хэрхэн хамаарч өөрчлөгдсөнийг хэмжсэн хэмжилтийг хүснэгтэд харуулав. Уг хэмжилтээр фоторезисторын гэрэлтэлт-эсэргүүцлийн хамаарлын график байгуулна уу.

E, lm	*R*, Ω	*E*, lm	*R*, Ω
10	5000	705	1430
90	4000	800	1310
200	3000	920	1200
365	2150	1200	1000
540	1700	1900	740

Хэрэв фоторезисторыг хүчдэл хуваагч хэлхээнд холбовол резистор дээрх хүчдэл температураас хамаарч өөрчлөгддөг. Учир нь хүчдэл хуваагчийн аль нэг эсэргүүцэл өөрчлөгдвөл хэлхээний гүйдлийн хүч өөрчлөгдөж улмаар резистор бүр дээр унах хүчдэл өөрчлөгдөнө. Зураг 9-д үзүүлсэн хэлхээг **гэрэл мэдрэгч хэлхээ** гэнэ.

Гэрлийн эрчмийг люмен (lm) нэгжээр хэмжих бгөөд гэрэлтэлт ихсэх тутам фоторезисторын эсэргүүцэл буурна. Иймд фоторезистор дээрх хүчдэл буурч, R_1 ердийн резистор дээрх хүчдэл ихэснэ.

Дасгал Гэрэл мэдрэгч хэлхээний үүсгүүрийн хүчдэл V_{B1}=6 V, R_1=10 kΩ бөгөөд фоторезистор дээрх хүчдэл 0.90 V байсан бол гэрлийн эрчим ямар байсныг тодорхойл.

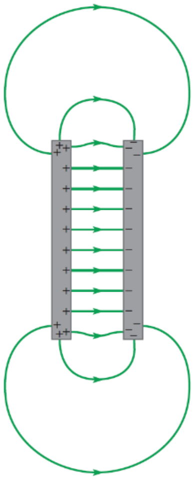
Даалгавар 1: Хүчдэл хуваагчийн нэвтрүүлэх коэффицентийг оролт гаралтын хүчдэлийн харьцаагаар тодорхойл.

Даалгавар 2: Тухайн үеийн фоторезисторын эсэргүүцлийг тооцоол.

Даалгавар 3: Тодорхойлсон эсэргүүцлийн тусламжтай гэрэлтэлт ямар хэмжээтэй байсныг графикаас тодорхойл.

Конденсатор

Электрон хэлхээний нэг чухал элемент бол конденсатор юм. Конденсатор нь тусгаарлагдсан ялтсуудын эерэг, сөрөг цэнэгжилтээр энерги хуримтлуулдаг элемент юм. Конденсатор нь ямар нэгэн тусгаарлагч материалаар тусгаарлагдсан хоёр дамжуулагч ялтсаас бүтнэ. Хоёр ялтсын нэгээс нь сөрөг цэнэгийг нь авч нөгөөд нь өгвөл сөрөг цэнэгээ өгсөн нь эерэг цэнэгтэй болж, авсан ялтас нь сөрөг цэнэгтэй болно. Ийнхүү цэнэг шилжүүлэхэд ажил хийгдэх бөгөөд хоёр ялтсын цэнэгүүд бие биеэ кулоны хүчээр татах боловч дундах тусгаарлагчаа нэвтэлж чадахгүй потенциал энерги болон хадгалагдана.



Зураг 10. Хавтгай конденсаторын цахилгаан орон

Хамгийн энгийн конденсатор бол вакуум орчинд хоорондоо d зайд байрласан A талбай бүхий хоёр ялтастай хавтгай конденсатор юм. Хавтгай конденсаторын нэг ялтас $+Q$ цэнэгээр цэнэглэгдсэн бол нөгөө ялтас нь $-Q$ цэнэгтэй байна. Конденсаторт цэнэг ба цахилгаан энерги хуримтлагддаг. Цэнэг хуримтлуулах чадварыг цахилгаан багтаамж гэдэг хэмжигдэхүүнээр илэрхийлдэг.

$$C = \frac{Q}{\Delta V}$$

Энэ нь конденсаторын хүчдэлийг нэгж хэмжээгээр нэмэгдүүлэхэд шаардлагатай цэнэгийн хэмжээгээр тодорхойлогдох хэмжигдэхүүн юм. Өөрөөр хэлбэл 1 V хүчдэлээр 1 кулон (C) цэнэг хуримтлуулж байвал 1 фарад (F) багтаамжтай байна гэсэн үг юм. Хавтгай ялтсын хоорондох цахилгаан орны хүчлэг

$$E = \frac{Q}{\varepsilon_0 A}$$

гэж тодорхойлогдоно. Энд ε_0 бол вакуум дахь цахилгаан тогтмол бөгөөд $\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ F/m байна. Ялтсуудын хооронд цахилгаан орон нэгэн жигд, аль ч цэг дээр орны хүчлэг тогтмол байна. Харин ялтас хоорондох потенциалын ялгавар нь

$$\Delta V = Ed$$

байна. Цэнэгийн хэмжээ их байх тусам орны хүчлэг ихсэх ба потенциалын ялгавар их байна. Мөн ялтас хоорондын зай ихсэх тусам потенциалын ялгавар ихэснэ. Эндээс

$$\Delta V = Q\frac{d}{\varepsilon_0 A}$$

Тэгвэл хавтгай конденсаторын багтаамж нь

$$C = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$$

Ялтсын талбай том байх тусам их багтаамжтай, ялтас хоорондын зай ойр байх тусам их багтаамжтай байна.

> *Цахилгаан багтаамжийн нэгж*
>
> $$1\text{F} = \frac{1\text{C}}{1\text{V}} \quad \left(1\Phi = \frac{1\text{Кл}}{1\text{В}}\right)$$
>
> $1\text{uF} = 1\mu\text{F} = 10^{-6}\Phi$
>
> $1\text{nF} = 10^{-9}\text{F}$
>
> $1\text{pF} = 10^{-12}\text{F}$

Конденсаторыг 6.0 V хүчдэлд холбоход нэг ялтас нь +48 C, нөгөө ялтас нь −48 C цэнэгээр цэнэглэгдсэн бол уг конденсаторын хүчдэлийг дөрөв дахин бууруулбал ялтсуудын цэнэг ямар хэмжээтэй болж, хэд дахин буурах вэ?

Конденсаторын багтаамж түүний физик хэмжигдэхүүнээс ийнхүү хамаарахаас гадна тусгаарлагч материалын диэлектрик нэвтрүүлэх чадвараас хамаарна. Өөрөөр хэлбэл ялтас хоорондын зай багасах тусам ялтсууд дээрх цэнэгүүдийн харилцан үйлчлэл ихэссэнээр багтаамж ихэсдэг гэж тайлбарлаж болно. Тэгвэл тусгаарлагч материалыг өөрчилснөөр ялтсуудын хоорондох цэнэгийн харилцан үйлчлэлийг өөрчилж болно. Диэлектрик материалын энэ шинж чанарыг диэлектрик нэвтрүүлэх чадвар гэж нэрлэдэг. Үүнийг ε үсгээр тэмдэглэнэ. Тэгвэл диэлектрик тусгаарлагч бүхий хавтгай конденсаторын багтаамж:

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 A}{d}$$

Дараах хүснэгтэд төрөл бүрийн материалуудын диэлектрик нэвтрүүлэх чадваруудыг харуулав. Мөн тухайн материалууд потенциалын ялгавар буюу хүчдэл даах чадвараараа өөр өөр байдаг. Хүснэгтэд 1 мм зузаан материал хэдэн киловольт хүчдэл даахыг үзүүлжээ.

Материал	Диэлектрик нэвтрүүлэх чадвар ε	Хүчдэл даах чадвар (kV/mm)
Вакуум	1	∞
Агаар	1.00054	3
Тос	2	60–80
Тефлон	2.1	60
Цаас	3.0	8
Очир алмааз	5.7	100
Гялтгануур	6.3	150–220
Резин	6.7	12
Шил	7.5	8-13
Шаазан	8.0	10
Тусгай керамик	50–хэдэн мянга	4–8

1 см^2 талбайтай ялтсуудтай, 0.01 мм зузаантай гялтгануур тусгаарлагчтай конденсаторын багтаамжийг болон түүний даах хамгийн их хүчдэлийг тооцоолно уу.

Даалгавар 1: Гялтгануур тусгаарлагчийн диэлектрик нэвтрүүлэх чадварыг хүснэгтээс олж багтаамжийг тодорхойлно уу.

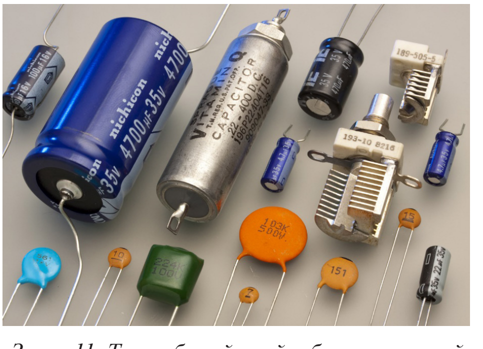
Даалгавар 2: Гялтгануур тусгаарлагчийн хүчдэл даах чадварыг хүснэгтийн утгын хамгийн багаар тооцож хамгийн их даах хүчдэлийг тооцоолно уу.

1 м урт, 1.5 см өргөн туузан ялтастай, 0.05 мм цаасан тусгаарлагчтай конденсаторын багтаамж болон даах хүчдэлийг тооцоолно уу.

Даалгавар 1: Цаасан тусгаарлагчийн диэлектрик нэвтрүүлэх чадварыг хүснэгтээс олж багтаамжийг тодорхойлно уу.

Даалгавар 2: Цаасан тусгаарлагчийн хүчдэл даах чадварыг хүснэгтийн утгаар тооцож хамгийн их даах хүчдэлийг тооцоол.

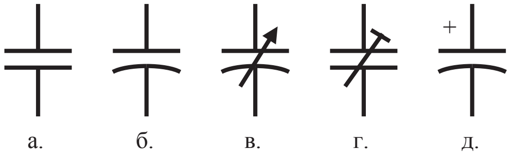
Практикт багтаамж болон хийцээрээ ялгаатай олон төрлийн конденсаторууд байх бөгөөд багтаамжаас гадна хамгийн их даах хүчдэлийг нарийн тооцоолох хэрэгтэй. Мөн хийцээсээ шалтгаалаад зориулалт нь өөр өөр байж болохыг ч анхаарах нь чухал. Багтаамжийг ихэсгэхийн тулд маш нимгэн тусгаарлагч ашигладаг учир даах хүчдэл нь ч эрс багасдаг.



Зураг 11. Төрөл бүрийн хийц, багтаамжтай конденсаторууд

Конденсаторын холболтууд

Конденсаторыг цахилгаан болон электрон хэлхээнд үүрэг зориулалт, бүтцээр нь ялгаж өөр өөрөөр тэмдэглэдэг.



Зураг 12.

а. Ердийн хавтгай конденсатор

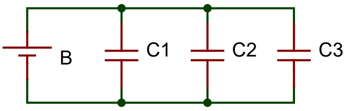
б. Хуйлаадсан конденсатор

в. Гараар эргүүлдэг хувьсах конденсатор

г. Жижиг халив (отвертка) багажаар эргүүлдэг хувьсах конденсатор

д. Электролит буюу туйлт конденсатор

Зэрэгцээ холбогдсон конденсаторуудыг авч үзье.



Зураг 13.

Үүсгүүрээс цэнэг урсан гарч түүнийг конденсаторууд өөр өөрийн багтаамжаар хүлээн авна. Өөрөөр хэлбэл конденсаторуудын цэнэгүүдийн нийлбэр үүсгүүрээс гарсан цэнэгтэй тэнцүү.

$$Q_B = q_{C1} + q_{C2} + q_{C3}\,, \quad Q_B = V_{C1}C_1 + V_{C2}C_2 + V_{C3}C_3$$

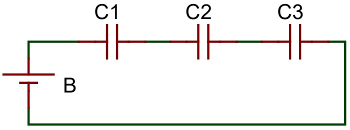
Зэрэгцээ холбогдсон конденсаторуудын хүчдэл бүгд үүсгүүрийнхтэй ижил байх учир

$$Q_B = V_B\left(C_1 + C_2 + C_3\right) = V_B C_E \text{ буюу } C_E = C_1 + C_2 + C_3$$

Эндээс зэрэгцээ холбогдсон конденсаторуудын ерөнхий багтаамж нь багтаамж тус бүрийн нийлбэртэй тэнцүү гэж гарна. Товчхондоо зэрэгцээ холбогдсон конденсаторуудын ялтсууд нийлж илүү том талбайтай ялтас үүсгэж байгаа учир багтаамж нь нэмэгддэг байна.

10 uF, 20 uF, 30 uF багтаамжтай конденсаторууд зэрэгцээ холбогдсон бол ерөнхий багтаамжийг олоорой. Энд u үсгээр микро буюу 10^{-6} хэмжээг илэрхийлнэ.

Одоо цуваа холбогдсон конденсаторуудыг авч үзье.



Зураг 14.

Кирхгофын хүчдэлийн дүрмээр

$$V_B = V_{C1} + V_{C2} + V_{C3}$$

Хүчдэлийг конденсаторын цэнэг, багтаамжаар илэрхийлбэл

$$\frac{Q_B}{C_E} = \frac{q_{C1}}{C_1} + \frac{q_{C2}}{C_2} + \frac{q_{C3}}{C_3}$$

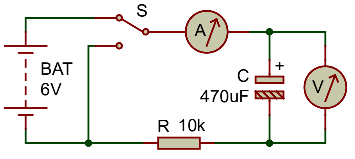
Цуваа холбогдсон конденсаторуудын хувьд бүх цэнэгүүд нь хоорондоо тэнцүү байдаг. Өөрөөр хэлбэл C_1 конденсаторын нэг ялтас $+q$ цэнэгээр цэнэглэгдвэл нөгөө ялтас нь $-q$ цэнэгээр цэнэглэгдэнэ. Энэ ялтас нь C_2 конденсаторын нэг ялтастай холбогдсон учир тэр ялтсаас электронуудыг татаж авсан гэсэн үг юм. Тэгвэл C_2 конденсаторын уг ялтас $+q$ цэнэгээр цэнэглэгдэнэ. Мөн нөгөө ялтас нь $-q$ цэнэгээр цэнэглэгдэж улмаар C_3 конденсаторыг ижил цэнэглэнэ. Иймд: $Q_B = q_{C1} = q_{C2} = q_{C3}$ учир

$$\frac{Q_B}{C_E} = Q_B\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}\right) \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{C_E} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

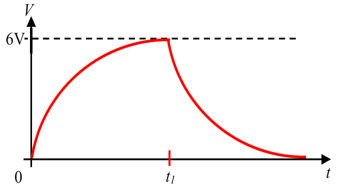
Эндээс цуваа холбогдсон конденсаторуудын ерөнхий багтаамжийн урвуу нь багтаамж тус бүрийн урвуунуудын нийлбэртэй тэнцүү байна. Өөрөөр хэлбэл цуваа холбогдсон конденсаторуудын диэлектрик материалууд нэмэгдэж хоорондын зай нь ихсэж байгаа учир багтаамж нь буурдаг байна.

10 uF, 20 uF, 30 uF багтаамжтай конденсаторууд цуваа холбогдсон бол ерөнхий багтаамжийг олно уу.

Тогтмол гүйдэл ба конденсатор



Зураг 15.

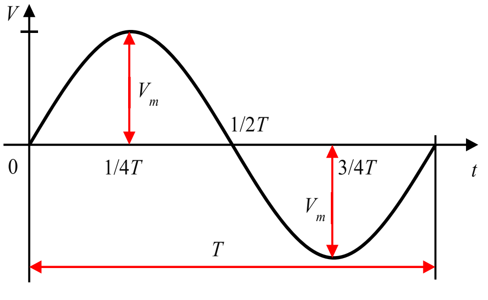


Зураг 16.

Зураг 15–д үзүүлсэн хэлхээг угсран S түлхүүрийг зай хураагуурт холбовол амперметрээр гүйдэл маш огцом гүйж эхэлнэ. Харин хүчдэл нь 0 V-оос алгуур өгсөж эхэлж байгааг ажиглаж болно. Улмаар гүйдэл улам бүр багасаж, харин хүчдэл үүсгүүрийн 6 V руу бага багаар дөхсөөр байх болно. Хэсэг хугацааны дараа конденсаторын хүчдэл үүсгүүрийн 6 V хүчдэлтэй ижил болох ба гүйдлийн хүчний хэмжээ 0 А болно. Энэ нь конденсатор бүрэн цэнэглэгдсэн гэсэн үг бөгөөд үүнээс цааш конденсатороор гүйдэл гүйхгүй. Одоо t_1 агшинд S түлхүүрийг доод байрлалд оруулбал конденсаторын цэнэг амперметр болон 10 kΩ резистороор дамжин эсрэг чиглэлд гүйх ба гүйдлийн хэмжээ мөн алгуураар буурна. Энэ үед конденсаторын хүчдэл буурсаар 0V руу дөхнө. Төгсгөл рүүгээ улам алгуур дөхөж байгаа нь ажиглагдана (Зураг 16).

Одоо та нар багштайгаа зөвлөлдөн гүйдлийн хүчний график ямар байхыг дүрслэн зураарай. Түлхүүрийг дөнгөж залгамагц гүйдлийн хүч маш огцом 0.6 mA хүрнэ. Харин t_1 агшинд S түлхүүрийг доод байрлалд оруулах үед гүйдлийн чиг эсрэгээр өөрчлөгдөх ба далайцын хэмжээ нь мөн 0.6mA байна.

Хувьсах гүйдэл ба конденсатор



Зураг 17.

Гүйдлийн чиглэлээ үелэн давтагдах зарчмаар байнга сольж байдаг гүйдлийг **хувьсах гүйдэл**, хүчдэлийн туйлаа үелэн өөрчилдөг хүчдэлийг **хувьсах хүчдэл** гэдэг.

Чиглэл болон туйлаа нэг бүтэн солих T хугацааг **хэлбэлзлийн үе** гэнэ. Үеийн урвуу хэмжигдэхүүн буюу нэг секундэд хийх хэлбэлзлийн тоог **давтамж** гэнэ.

$$f = \frac{1}{T}$$

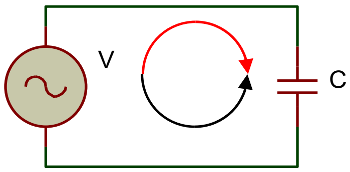
Давтамж нь 1/s буюу Герц (Hz) нэгжээр хэмжигддэг.

Хувьсах гүйдэл, хүчдэл нь генераторын эргэх хөдөлгөөнөөс үүсэж байгаа учир гармоник функц хэлбэртэй байна. Генераторын эргэх хөдөлгөөнөөс үүдэн секундэд хэдэн радиан өнцгөөр эргэснийг харуулах тойрог давтамж гэх ойлголт гарч ирнэ. Үүнийг

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}(\text{рад/с})$$

Тойрог давтамж нь Герц нэгжээр бус секундэд эргэсэн өнцөг буюу (рад/с) нэгжээр хэмжигдэнэ. Харин хамгийн их утга I_m болон V_m-ийг далайц гэх бөгөөд хувьсах гүйдлийн хүч болон хүчдэлийн функц

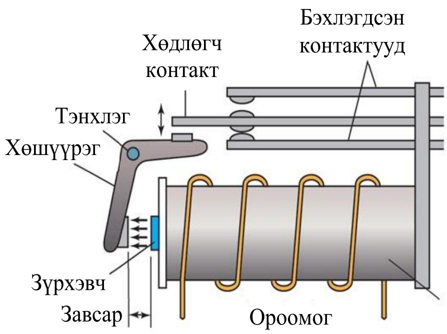
$$i = I_m \sin(\omega t); \qquad V = V_m \sin(\omega t)$$



Зураг 18.

Хувьсах хүчдэлийн үүсгүүрт холбогдсон конденсатор хүчдэлийн эерэг үед эергээр цэнэглэгдэх ба үүсгүүрийн туйл солигдмогц өмнөх авсан цэнэгээ алдаж, улмаар сөргөөр цэнэглэгдэнэ. Дахин туйл солигдвол буцаад эергээр цэнэглэгдэнэ. Конденсатор цэнэглэгдэнэ гэдэг нь түүн рүү цэнэг урсан орж, цэнэгээ алдах үед цэнэг урсан гарч байна. Иймд конденсаторын ялтсууд руу гүйдэл гүйж байна гэсэн үг. Харин конденсаторын тусгаарлагч материалаар гүйдэл хэзээ ч гүйхгүй. Иймд конденсатор нь хувьсах гүйдлийн үед гүйдэл дамжуулдаг болж байна.

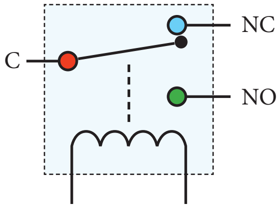
Реле



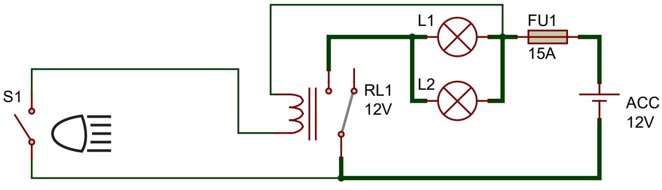
Зураг 19.

Цахилгаан соронзон реле бол Америкийн эрдэмтэн Жозеф Хэнригийн зохион бүтээсэн нэг гүйдлээр нөгөө гүйдлийг удирдаж болдог хамгийн анхны төхөөрөмж юм (Зураг 19). Энэ нь дараах зарчмаар ажиллана. Дамжуулагч утсан ороомгоор гүйдэл гүйхэд түүний зүрхэвчинд соронзон орон үүснэ. Тодорхой завсар үүсгэн байрласан хөшүүргийн нэг үзүүрийг зүрхэвч татахад хөшүүргийн нөгөө үзүүр хөдлөгч контактыг хөшин, хэвийн үедээ залгаатай (NC) контактыг салгаж, салгаатай (NO) контактыг залгана. Зураг 20-д релений цахилгаан хэлхээний тэмдэглэгээг харуулав.

Релений гол хэрэглээ бол бага гүйдлээр их гүйдлийг удирдах явдал юм. Жишээ нь авто машины их гэрэл гүйдлийн хүч 10А орчим болоход асна. Тэгвэл аккумуляторoос чийдэн, чийдэнгээс жолооны хүрд хүртэл урт бүдүүн утас холбож, мөн 10А гүйдлийн хүч даах түлхүүр холбох шаардлагатай болно. Харин реле ашиглан зөвхөн чийдэнг аккумуляторт холбоод, релений удирдах бага гүйдлийн хүчийг жолооны хүрдтэй холбовол реле хүрэх утсыг маш нарийн утсаар хийж, унтраалга түлхүүрийг гүйдлийн хүч бага үед ажиллахаар сонгох боломжтой болно (Зураг 21).



Зураг 20.

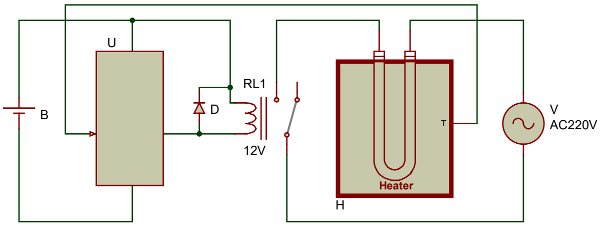


Зураг 21.

Электрон хэлхээний гаралтын хэлхээнд цахилгаан соронзон релег өргөн хэрэглэдэг. Тухайлбал температур мэдрэгч хэлхээний хүчдэл тодорхой утганд хүрэх буюу температур тодорхой хэмжээнд хүрэхэд боловсруулагч хэлхээ болох

халаагч (эсвэл эсрэгээрээ хөргөгч) ажиллуулах шаардлагатай болсон гэж үзье. Халаагч гэдэг бол хэдэн зуун ватт чадлаас эхлээд хэдэн арван киловатт чадалтай төхөөрөмж байж болно. Чадал их байх тусам төдий чинээ их гүйдлийн хүч шаардагдана. Харин боловсруулагч хэлхээ тийм их гүйдлийн хүч гаргаж чадахгүй бол цахилгаан соронзон реле энд ашиглагдана.

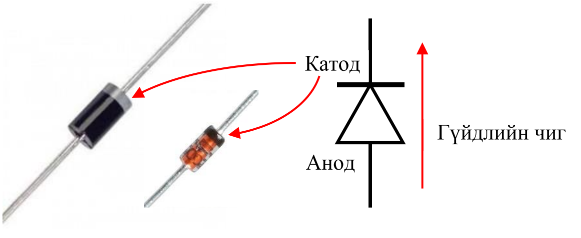
Зурагт үзүүлсэн хэлхээний H халаагч хувьсах 220 В хүчдэлд ажиллах бөгөөд реле залгагдвал ажиллана. Харин релег U боловсруулагч хэлхээ бага гүйдлээр удирдах бөгөөд халаагчид байрлуулсан мэдрэгч хэлхээний T гаралтаас температурын мэдээлэл боловсруулагч хэлхээнд ирнэ.



Зураг 22.

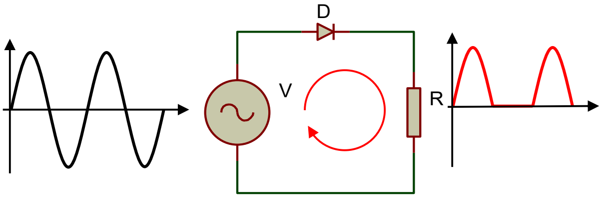
Боловсруулагч хэлхээний тухай дараагийн сэдэвт үзнэ. Харин энд D хагас дамжуулагч диод релено холбосон нь цахилгаан соронзон релений ороомогт үүсэж болох өөрийн индукцлэлийн хүчдэлээс удирдах хэлхээг хамгаалах үүрэгтэй юм. Учир нь релений ороомгоор гүйдэл гэнэт гүйх болон, гэнэт таслагдахад хэдэн зуун вольтоос хэдэн мянган вольтын өөрийн индукцлэлийн хүчдэл бий болдог. Хагас дамжуулагч диод хэрэглэснээр гүйдэл огцом өөрчлөгдөх нөхцөлийг устгадаг.

Хагас дамжуулагч диод



Зураг 23. Хагас дамжуулагч диодууд ба түүний хэлхээний тэмдэглэгээ.

Электрон хэлхээнд гүйдлийг зөвхөн нэг чигт гүйлгэх шаардлага байнга тохиолддог. Өмнө бид хувьсах гүйдэл чиглэлээ өөрчлөн хоёр тийш ээлжлэн гүйдэг тухай үзсэн. Тэгвэл ихэнх электрон төхөөрөмжүүд нэг чигт гүйдэг тогтмол гүйдлээр ажилладаг. Иймд хувьсах гүйдлийг нэг чигт гүйдэг болгохын тулд шулуутгагч диодыг ашиглана. Электрон төхөөрөмжид төрөл бүрийн хэлбэр хэмжээтэй диодууд тааралдах боловч ажиллах зарчим нь бүгд ижил. Харин даах хүчдэл болон гүйдлээрээ ялгагдана. Зураг 23–т хагас дамжуулагч диодын жишээ болон хэлхээний тэмдэглэгээг харуулав.

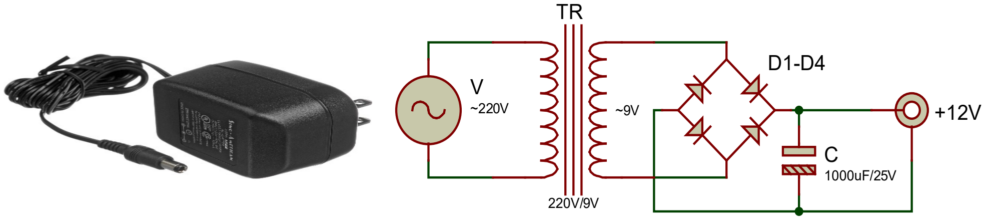


Зураг 24. Хагас дамжуулагч диодоор хувьсах гүйдлийг шулуутгах

Гүйдэл түүний тэмдэглэгээний гурвалжин дүрсийн дагуу буюу анодоос катод руу гүйдэг. Диодын катод хөлийг анод хөлөөс ялгаж будгаар тэмдэглэдэг.

Хагас дамжуулагч диодыг хувьсах гүйдлийн хэлхээнд холбовол гүйдэл зөвхөн нэг чигт гүйснээр хувьсах гүйдэл тогтмол гүйдэл болно (Зураг 24).

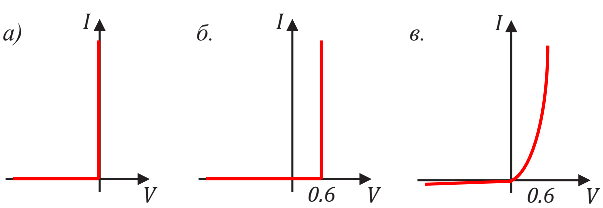
Хэдийгээр гаралтын хүчдэл хагас гармоник хэлбэртэй лугшсан хүчдэл болох боловч ачааны резистортой конденсатор зэрэгцээ холбон улам илүү тогтмол хүчдэл болгож болно. Зураг 25-д хүчдэл бууруулагч адапторын зарчмын схем үзүүлэв.



Зураг 25. Хүчдэл бууруулагч адаптор ба түүний зарчмын схем

Зурагт үзүүлсэн адаптор нь бууруулагч трансформатор, шулуутгагч диодууд (ийм дөрвөн диодийг гүүрэн шулуутгагч гэдэг) шүүгч конденсатор зэргээс бүтжээ.

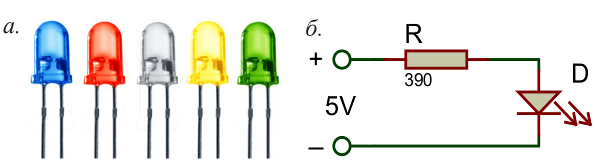
Хагас дамжуулагч диодыг хүчдэлд холбоод хүчдэлийг нь өөрчлөхөд гүйдэл нь хэрхэн өөрчлөгдөж байгааг харуулсан хамаарлыг хүчдэл-гүйдлийн хүчний хамаарал (ХГХХ) гэж нэрлэдэг. Зураг 26–д идеал диод, бараг идеал диод, бодит диодын ХГХХ-уудыг харуулав.



Зураг 26. Хагас дамжуулагч диодын ХГХХ а. Идеал диод, б. Бараг идеал диод, в. Бодит диод

Идеал диод бол хүчдэлийн туйл сөрөг болмогц огт гүйдэл дамжуулдаггүй, харин хүчдэлийн туйл эерэг болмогц гүйдэл дамжуулах бөгөөд дотоод эсэргүүцэл нь тэгтэй тэнцүү учир хүчдэлийн уналт тэгтэй тэнцүү болно. Харин бараг идеал диод хүчдэл нь 0.6 В-оос бага юм уу сөрөг утгатай бол гүйдэл дамжуулахгүй, харин хүчдэл +0.6-аас их бол маш сайн дамжуулна. Харин бодит диод бол хүчдэлийн туйл сөрөг бол бараг гүйдэл дамжуулахгүй (маш бага гүйдэл гүйлгэж болно), харин хүчдэл эерэг бол хүчдэл ихэсэхэд гүйдэл шугаман бус хуулиар нэмэгдэж буйг ХГХХ-ын графикаас харж болно. Хүчдэл 0.6 В-оос ихэсвэл гүйдэл маш огцом өснө. Энэ 0.6 В хүчдэлийг цахиуран диодын босго хүчдэл гэх бөгөөд германий диодонд 0.2 В хүртэл буурдаг. Мөн орчин үеийн технологиор 0.1 В хүртэл бага босго хүчдэлтэй Шотки диод үйлдвэрлэдэг бөгөөд зохиосон хүнийх нь нэрээр нэрлэжээ.

Хагас дамжуулагч диодын бас нэг хэлбэр бол гэрэл цацруулагч диод буюу LED юм. Түүнийг аливаа төхөөрөмжид мэдээлэгч (тухайлбал гар утас цэнэглэгч цэнэглэж байвал улаан гэрэл асдаг, цэнэг нь дүүрвэл ногоон гэрэл асдаг) болгон хэрэглэхээс гадна эрчим хүч хамгийн бага зарцуулдаг гэрэлтүүлэг, гудамж талбайн том видео дэлгэц, телевизор, компьютерийн болон гар утас, таблет төхөөрөмжийн дэлгэц хийхэд ашигладаг. Өөрөөр хэлбэл гаралтын хэлхээнд өргөн ашигладаг.



Зураг 27. а. Төрөл бүрийн энгийн LED, б. LED-г үүсгүүрт холбож асаах хэлхээ

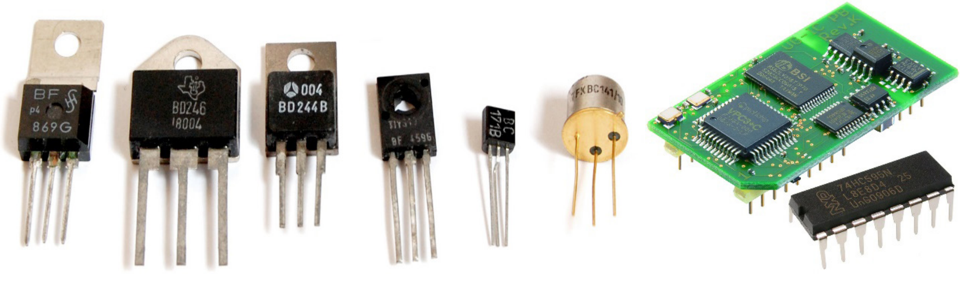
LED нь тодорхой гүйдэл, хүчдэлээр асах ба хэр хэмжээтэй гүйдэл хүчдэлээр асах ёстойг тухайн LED-ийг үйлдвэрлэсэн үйлдвэрээс техник үзүүлэлтэд нь зааж өгсөн байдаг. Жишээ нь 10 mA гүйдэл, 1V хүчдэлд асдаг LED-г зураг 27.б–д

үзүүлсэн байдлаар 5 V үүсгүүрт холбосон гэвэл эсэргүүцэл дээр 4 V хүчдэл унах ёстой. 4 V хүчдэлээр 10 mA гүйдэл гүйлгэх эсэргүүцлийн хэмжээ 400 Ω болох бөгөөд түүнд хамгийн ойр утгатай үйлдвэрлэгддэг резистор бол 390 Ω эсэргүүцэлтэй резистор юм. Харин LED-ийн туйлыг буруу холбовол хагас дамжуулагч диодоор урвуу чиглэлд гүйдэл гүйхгүй учир асахгүй.

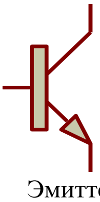
Яг ижилхэн гурван ширхэг LED-ийг 5 V үүсгүүрт бүгдийг цуваа холбон асаана гэвэл хэдэн Ω эсэргүүцэлтэй резистор хэрэг болох вэ?

Бодолт Гурван LED цуваа холбогдвол 3 V хүчдэл унах ба резистор дээр 2 V хүчдэл унана. 10 mA гүйдэл гүйхийн тулд R=2 V/10 mA=200 Ω гэж олдоно.

Хагас дамжуулагч транзистор



Зураг 28. Хагас дамжуулагч транзисторууд ба интеграл микросхемүүд

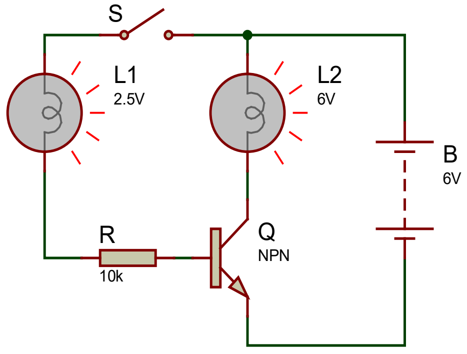


Зураг 29.

Хүн төрөлхтний түүхэнд XX зууны дундуур нээсэн нээлтүүдийн хамгийн том гэж хэлж болохуйц нээлт бол транзистор хэмээх электрон элемент юм. Энэхүү элемент үүссэнээр хүн төрөлхтний хөгжилд маш том эрин буюу электроникийн эрин эхэлсэн билээ. Транзисторыг зураг 28-д үзүүлснээр том жижиг янз бүрийн хэлбэр хэмжээтэйгээр нэг нэг ширхэгээр үйлдвэрлэж болохын зэрэгцээ олноор нь буюу хэдэн сая, тэрбум ширхэгээр нь нэг биет дотор үйлдвэрлэн угсарч чаддаг болсон юм. Ийм электрон элементийг интеграл микросхем гэж нэрлэдэг (Зураг 28). Орчин үеийн мэдээллийн технологийн хөгжил электроник дээр тулгуурладаг бол электроникийн хөгжил транзистор дээр тулгуурладаг. Иймд бидний эргэн тойронд буй тооцоолон бодох төхөөрөмжүүд, автомат төхөөрөмжүүд, роботууд бүгд транзистороор бүтээгддэг байна. Орчин үеийн технологи нь транзисторыг сантиметр (10^{-2} m), миллиметр (10^{-3} m) бүр цаашилбал микрометр (10^{-6} m) болон нанометр (10^{-9} m) хэмжээтэй үйлдвэрлэж чаддаг болжээ.

Транзистор гурван шонгоор хэлхээнд холбогддог. Тэдгээрийг Бааз (B), Эмиттер (E), Коллектор (C) гэж нэрлэдэг. Транзистороор хоёр гүйдэл гүйнэ. Баазаас эмиттер лүү, мөн коллектороос эмиттер лүү гүйдэл гүйдэг. Харин коллектороос бааз руу гүйдэл огт гүйхгүй.

Зурагт үзүүлсэн транзисторыг NPN бүтэцтэй транзистор гэх бөгөөд баазаас гүйсэн гүйдэл, коллектороос гүйсэн гүйдэл хоёул эмиттер дээр нийлэх ба эмиттерийг коллектороос ялгахын тулд, мөн гүйдлийн чигийг харуулахын тулд сум зурж өгдөг байна. Сумыг буруу харуулж зурвал PNP төрлийн транзистор болох ба түүний гүйдлийн чиг болон хүчдэлийн туйл эсрэгээс өөрөөр NPN транзистороос ялгарах зүйл үгүй.



Зураг 30.

Транзисторын ажиллагааг ойлгохын тулд зураг 30–д үзүүлсэн хэлхээг угсрах шаардлагатай. Транзистор нь түүний баазаар эмиттер луу I_B гүйдэл гүйвэл коллектороос эмиттер луу I_C гүйдэл гүйдэг буюу нэг гүйдэл нь нөгөө гүйдлээ удирддаг төхөөрөмж юм.

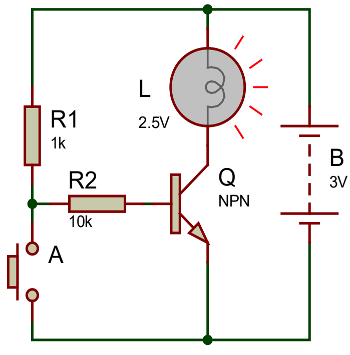
Хэлхээг угсраад S түлхүүрийг залгамагц L1 чийдэн асахгүй харин L2 чийдэн асна. Учир нь L1 чийдэнтэй 10,000 Ω эсэргүүцэлтэй резистор цуваа байгаа учир чийдэнг асаах хүчрэхгүй бага гүйдлийн хүч гүйсэн байна. Харин коллектороор баазаар гүйсэн гүйдлийн хүчээс их гүйдлийн хүч гүйж байгаа учир L2 чийдэн асжээ. Транзистор нь баазаараа гүйж байгаа гүйдлийн хүчээс тодорхой хэмжээгээр их гүйдлийн хүч коллектороороо гүйлгэдэг бөгөөд энэ хэмжээг транзисторын **гүйдлийн хүч өсгөлтийн коэффицент** (β) гэж нэрлэдэг.

$$I_C = \beta I_B$$

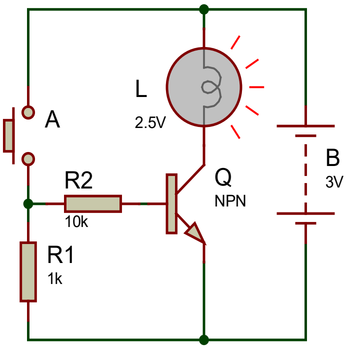
Хэлхээнд амперметрүүд холбоод хоёр гүйдлийн хүчийг хэмжиж аваад транзисторын гүйдлийн хүч өсгөлтийн коэффицент (β)-г олж болно.

Хагас дамжуулагч транзистор түлхүүр болох нь

а.



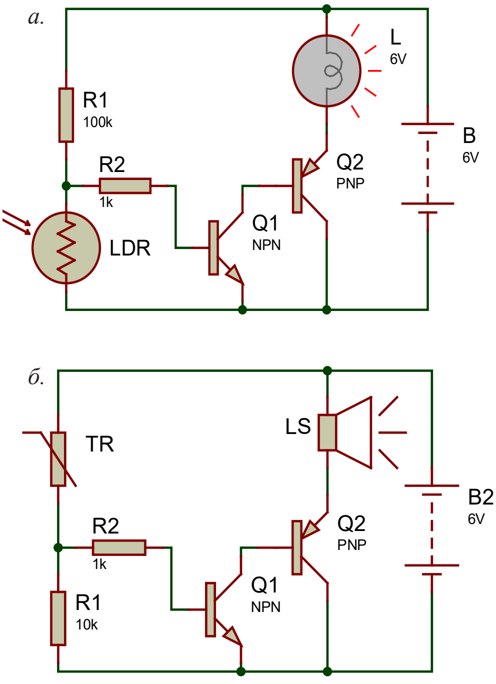
б.



Зураг 31. Транзисторт түлхүүр хэлхээнүүд

Зураг 31.а–д үзүүлсэн хэлхээний А товчлуурыг дарахад L чийдэн асаж байгаад унтарна. Харин зураг 31.б-д үзүүлсэн хэлхээний хувьд А товчлуурыг дарахад L чийдэн унтраалттай байснаа асна. А түлхүүрийн байрыг сольсноор хэлхээний үйлдэл яагаад солигдов? Багштайгаа зөвлөлдөж үүний учрыг олоорой.

Транзисторт дохиоллын хэлхээнүүд



Зураг 32. Транзисторт дохиоллын хэлхээнүүд

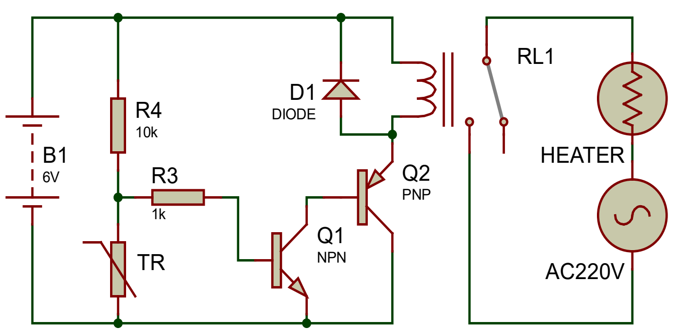
Бид өмнө гэрэл мэдрэч эсэргүүцэл нь өөрчлөгддөг фото-резисторын тухай үзсэн. Тэгвэл гэрэл мэдрэгч хэлхээг өмнөх транзисторт түлхүүр болгон холбовол гэрлийг мэдрэч автоматаар өөрөө асаж, унтардаг хэлхээ бий болно. Шөнө болмогц өөрөө асдаг, өдөр болмогц өөрөө унтардаг гудамжны гэрэлтүүлэг ийм удирдлагатай байдаг (Зураг 32.а).

Мөн хэлхээнд температур мэдрэгч хэлхээг байрлуулаад өрөөнд хэт халуун болбол чанга дуугарч дохио өгдөг хэлхээ буюу галын дохиолол хийж болно (Зураг 32.б).

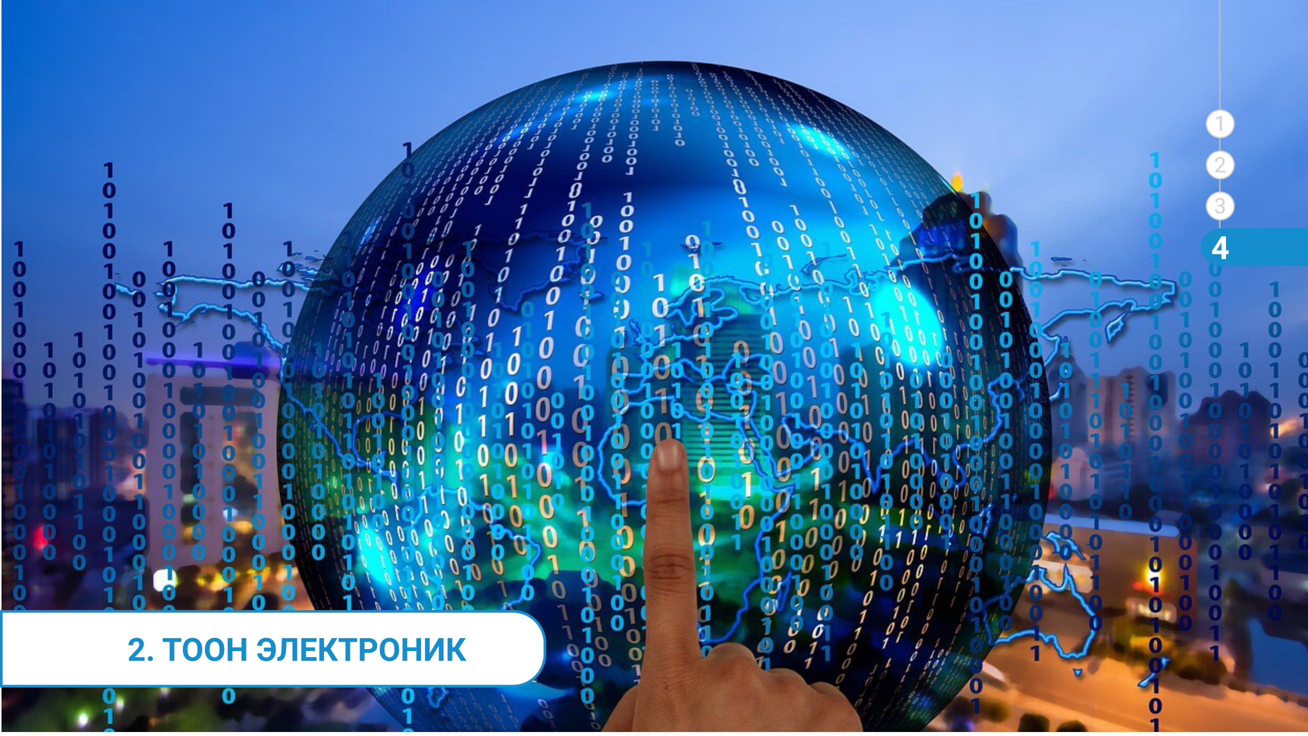
Хэлхээнүүдэд транзисторыг давхарлан ашигласан байна.

Зураг 31–д A товчлуурын байрлалыг солиход юу өөрчлөгдөж байсныг санаарай. Тэгээд гэрэл мэдрэгч дохиолол, температур мэдрэгч дохиололд мэдрэгч резисторуудын байрлал яагаад зөрөөтэй байгааг харилцан ярилцаж учрыг ол. Хэлхээнүүдийн гаралтад цахилгаан соронзон релег байрлуулж ~220 V хүчдэлд ажилладаг гэрэлтүүлгийг залгаж салгадаг хэлхээ зохиож багшдаа хянуулаарай.

Зураг 33–д халаалтын системийн автомат удирдлагын хэлхээг харуулав. Температур мэдрэгч термо-резисторыг галын дохиоллынхоос яагаад өөрөөр байрлуулсан болохыг харилцан ярилцаарай. Уг хэлхээнээс мэдрэгч хэлхээ, гаралтын хэлхээ аль болохыг тунгаан ярилцаад боловсруулагч хэлхээний үүргийг юу юу гүйцэтгэж байгааг тодорхойлоорой.



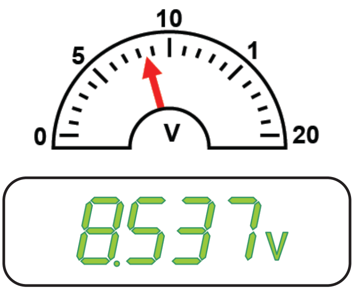
Зураг 33. Халаалтын системийн автомат удирдлага



2. ТООН ЭЛЕКТРОНИК

Аналоги ба тоон электроник

Зураг 34. Аналоги ба тоон цаг



Зураг 35. Аналоги ба тоон вольтметр

Орчин үеийн электрон системүүд аналоги болон тоон гэж ангилагддаг. Аналоги гэдэг нь Грек хэлний *analogos* буюу хамааралтай гэсэн утгатай үгнээс үүдэлтэй бөгөөд Франц хэлээр дамжин дэлхий дахинд analogue буюу нэг үзэгдэл нөгөө үзэгдлийг даган дуурайж буйг илэрхийлдэг үг болжээ. Өмнө дурдсан терморезисторын эсэргүүцэл нь температурын аналоги бөгөөд түүн дээрх хүчдэл эсвэл гүйдэл нь ч температурын аналоги болох юм. Улмаар тухайн физик хэмжигдэхүүнийг хүнд ямар нэгэн үзэгдлээр хуулбарлан хүргэж байгаа төхөөрөмжийг аналоги төхөөрөмж буюу аналоги электроникоор бүтээгдсэн төхөөрөмж гэж хэлж болно.

Зураг 34-д аналоги болон тоон цагуудыг үзүүлжээ. Аналоги цагийн зүү тойргийн төвийг тойрон 360° эргэнэ. Тэгэхээр зүүний өнцөг цаг хугацааны аналоги ажээ. Харин тоон цагийн хувьд арай өөр зарчмаар ажиллаж байгаа юм. Нэг тоог харуулж буй долоон гэрэлт сегмент асаж унтарснаар бид дэлгэцээс тоог олж харж байна. Наймын тоон дээр долоон сегмент бүгд ассан байгааг харж болно.

Зураг 35-д аналоги ба тоон вольтметрийг үзүүлжээ. Аналоги вольтметрийн зүүний өнцөг нь хэмжиж буй хүчдэлийн аналоги байна. Энд маш чухал ялгаа байгаа нь нарийвчлал юм. Аналоги вольтметрийн заалтаас хамгийн сайндаа 8.5 В гэж унших бол тоон вольтметрээс 8.537 В гэж мянганы нарийвчлалтай уншиж болно.

Соронзон бичлэгийн хальс бидний амьдралд саяхныг болтол чухал хэрэглээ байсаар ирсэн. Дуу хөгжмийг цахилгаан хэлбэлзэлд хувиргаад, цахилгаан хэлбэлзлийг соронзон хэлбэлзэлд хувиргаж соронзон материалд шингээснийг соронзон бичлэг гэж нэрлэдэг.

Зураг 36. Аналоги дуу хөгжим хураагч, тоон тоглуулагч

Өөрөөр хэлбэл хальсан дээрх соронзон бичлэг нь туузны уртын дагуу байрласан соронзон орны хэмжээ юм. Тууз урсан хөдөлмөгц дууны уншигч толгойн орчимд дууны хэлбэлзлийн аналоги болох хувьсах соронзон орон үүснэ. Уншигч толгой хувьсах соронзон орныг хувьсах цахилгаан орон болгож хувирган цахилгаан хэлбэлзлийг өсгөж чанга яригчид дамжуулснаар бид дуу чимээг сонсох болно. Тэгэхээр энэ төхөөрөмж бол аналоги төхөөрөмж юм (Зураг 36).

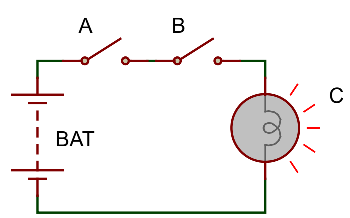
Харин тоон төхөөрөмжид тоон мэдээлэл өөр зарчмаар хадгалагдах бөгөөд түүнийг цахилгаан хэлбэлзэл болгон хувиргах зарчим бол өөр.

Орчин үед аналоги системээс маш олон давуу талтай тоон системүүд амьдралд өргөн нэвтэрч байна. Тоон системийн давуу талуудыг дурдвал нэгдүгээрт өндөр нарийвчлал буюу мэдээллийг чанартай хадгална. Соронзон хальс дамжуулан хуулбарлахад болон он удаанаар хадгалахад үргэлж чанар нь муудаж байдаг. Тоон мэдээлэл бол тийм алдаа гарахгүй. Хоёрдугаарт тоон мэдээллийг нууцалж болдог. Мэдээллийг хөндлөнгийн этгээдэд алдахгүй байх хамгаалалтыг зөвхөн тоон мэдээлэлд бий болгож болно. Түүнчлэн мэдээллийн төлбөрийн системийг өндөр түвшинд гаргадаг. Үүний тод илрэл бол тоон телевизийн систем юм. Аналоги системийн нэвтрүүлгийг үнэ төлбөргүйгээр хүлээн авч үзэж болдог бол тоон системийг төлбөр төлөхгүйгээр хүлээн авах боломжгүй гэдгийг бид мэднэ.

Логик элементүүд

Тоон электроникийн үндсэн элементүүд бол логик элементүүд юм. Логик нь тийм – үгүй, байна – байхгүй, үнэн – худал гэх мэт хоёр төлөвийг илэрхийлж чадах электрон элементүүдийн үр дүн юм.

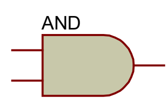
а.



б.

A	B	C
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

в.

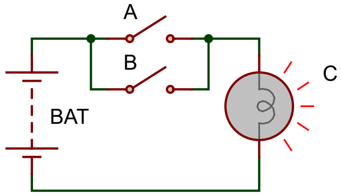


Зураг 37. а. Логик AND хэлхээ, б. Түүний үнэний хүснэгт, в. AND үйлдлийн логик тэмдэглэгээ

A болон *B* түлхүүрүүдийг салгаатай бол 0, залгаатай бол 1 гэж үзье. Үнэний хүснэгтэд *A*, *B* хоёулаа салгаатайгаас хоёулаа залгаатай болтол нийт 4 хувилбар байна. Харин энэ 4 хувилбарт зөвхөн хоёр түлхүүр хоёулаа залгаатай үед л чийдэн асна. Өөрөөр хэлбэл түлхүүрүүдийн аль нэг нь салгаатай бол гэрэл асахгүй. Ийм хэлхээг AND логик хэлхээ гэнэ. Логик алгебрт AND үйлдлийг “&” тэмдгээр, “∧” тэмдгээр болон ихэнхдээ “·” тэмдгээр тэмдэглэнэ. Жишээ нь дээрх хоёр түлхүүртэй AND үйлдлийг $C = A\&B$ эсвэл $C = A \wedge B$ эсвэл $C = A \cdot B$ гэж бичиж болно. Цаашид “·” тэмдэг хэрэглэе. Энэ нь арифметик үржих үйлдэл биш, логик үржих үйлдэл гэдгийг санаарай. Учир нь AND үйлдлээр бодит тоог үржүүлж

болохгүй. Бодит хэлхээнд хэдэн ч унтраалга цуваа холбож болох учир $C = A_1 \cdot A_2 \cdot \ldots \cdot A_n$ гэж бичнэ. $A_1–A_n$ түлхүүрүүдийн аль нэг нь салгаатай бол чийдэн асахгүй.

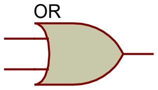
а.



б.

A	B	C
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

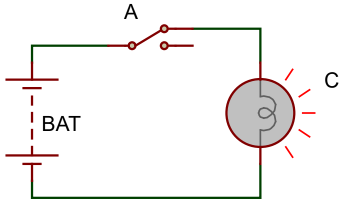
в.



Зураг 38. а. Логик OR хэлхээ, б. Түүний үнэний хүснэгт, в. OR үйлдлийн логик тэмдэглэгээ

OR үйлдэл түлхүүрүүдийн 4 хувилбарт зөвхөн хоёр түлхүүр хоёулаа салгаатай үед чийдэн унтарч, бусад бүх тохиолдолд чийдэн асна. Өөрөөр хэлбэл түлхүүрүүдийн ядаж нэг нь залгаатай бол чийдэн асна. Ийм хэлхээг OR логик хэлхээ гэнэ. Логик алгебрт OR үйлдлийг “ || ” тэмдгээр, “∨” тэмдгээр болон ихэнхдээ “+” тэмдгээр тэмдэглэнэ. Жишээ нь дээрх хоёр түлхүүртэй OR үйлдлийг $C = A \,||\, B$ эсвэл $C = A \vee B$ эсвэл $C = A + B$ гэж бичиж болно. Цаашид “+” тэмдэг хэрэглэе. Энэ нь арифметик нэмэх үйлдэл биш, логик нэмэх үйлдэл гэдгийг санаарай. Учир нь OR үйлдлээр бодит тоог нэмж болохгүй. Бодит хэлхээнд хэдэн ч унтраалга зэрэгцээ холбож болох учир $C = A_1 + A_2 + \ldots + A_n$ гэж бичнэ. $A_1 - A_n$ түлхүүрүүдийн аль нэг нь залгаатай бол гэрэл асна.

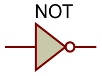
а.



б.

A	C
0	1
1	0

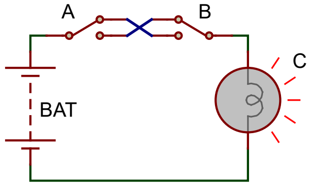
в.



Зураг 39. а. Логик NOT хэлхээ, б. Түүний үнэний хүснэгт, в. NOT үйлдлийн логик тэмдэглэгээ

Зураг 39а–д үзүүлсэн хэлхээний А түлхүүр хүн дараагүй бол залгаатай байх ба чийдэн асаалттай байна. Өөрөөр хэлбэл $A = 0$ бол $C = 1$ байна гэсэн үг. Харин $A = 1$ буюу түлхүүр дээр дармагц чийдэн унтарч $C = 0$ болно. Ийм логик үйлдлийг NOT үйлдэл гэх бөгөөд $C = \overline{A}$ гэж бичнэ. Үүнийг үгээр илэрхийлбэл C нь A-гийн үгүйсгэл гэж хэлдэг. Хэрэв A-г хоёр дахин үгүйсгэвэл A өөрөө гарна. Жишээ нь $A = 0$ бол $C = 1$ байна. Дахин үгүйсгэвэл $\overline{C} = 0$ болж A-тай ижил болно. Харин нь $A = 1$ бол $C = 0$ байна. Дахин үгүйсгэвэл $\overline{C} = 1$ болж мөн A-тай ижил болно. Иймд давхар үгүйсгэл буюу үгүйсгэлийн үгүйсгэл өөрөө байна. Үүнийг $\overline{\overline{A}} = A$ гэж бичнэ.

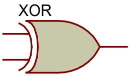
а.



б.

A	B	C
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

в.

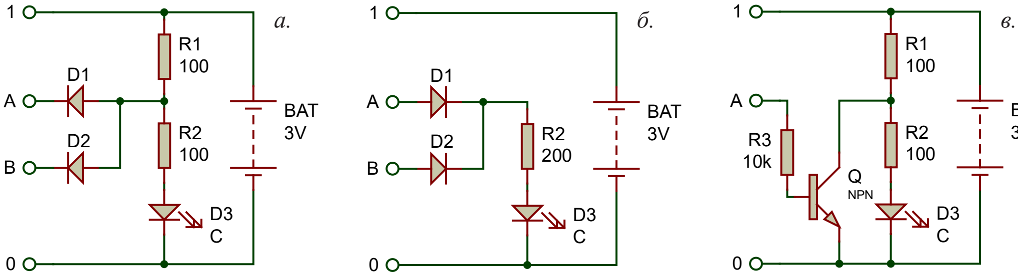


Зураг 40. а. Логик XOR хэлхээ, б. Түүний үнэний хүснэгт, в. XOR үйлдлийн логик тэмдэглэгээ

Сэлгэн залгадаг хоёр түлхүүрийг зураг 40–д үзүүлснээр холбовол чийдэнг асааж унтраах өвөрмөц холболт үүснэ. Хэлхээний үнэний хүснэгтээс харвал A ба B түлхүүрүүд хоорондоо ижил байрлалд байвал чийдэн асахгүй. Харин ялгаатай байрлалд байвал чийдэн асна. Ийм үйлдлийг тоон электроникт “Онцгой-OR” үйлдэл буюу XOR үйлдэл гэнэ. OR үйлдлээс зөвхөн $A = 1$, $B = 1$ үед “0” байгаагаараа XOR үйлдэл ялгагдана. Логик алгебрт XOR үйлдлийг “$\veebar$” тэмдгээр болон ихэнхдээ “$\oplus$” тэмдгээр тэмдэглэнэ. Жишээ нь дээрх хоёр түлхүүртэй XOR үйлдлийг $C = A \veebar B$ эсвэл $C = A \oplus B$ гэж бичиж болно. Цаашид “$\oplus$” тэмдэг хэрэглэе. XOR үйлдэл нь тооцоолон бодох техникийн аливаа үр дүнг харьцуулж чаддаг чадварын үндэс юм. Учир нь үнэний хүснэгтээс харвал A, B түлхүүрүүд ижил байрлалд байвал үр дүн $C = 0$ байх ба ялгаатай байрлалд байвал үр дүн $C = 1$ байна.

Логик гэйтүүд

Электроникийн хэлхээнд логик үйлдлүүдийг дандаа түлхүүрээр гүйцэтгээд байвал электрон хэлхээ гэж хэлэхэд бэрх болно. Иймд логик үйлдлүүдийг гүйцэтгэдэг хагас дамжуулагч хэлхээнүүд хэрэглэнэ. Ийм логик хэлхээний үндсэн элементүүдийг “гэйт” гэж нэрлэдэг.



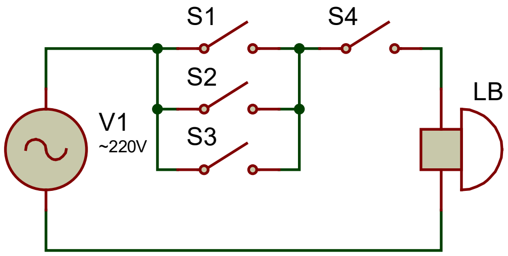
Зураг 41. а. Логик AND гэйт, б. Логик OR гэйт, в. Логик NOT гэйт

Зураг 41.а-д үзүүлсэн хэлхээнд логик AND гэйтийг хагас дамжуулагч диодоор хэрхэн бүтээдгийг үзүүлэв. *A* ба *B* оролтоор логик өгөгдлүүд орох ба үр дүн нь D3 гэрэлт диодоор гаралтад гарна. *A* ба *B* оролтуудад логик “0” өгье гэвэл тэдгээрийг 3 V батарейны сөрөг туйлд холбоно. Харин “1” өгье гэвэл батарейны эерэг туйлд холбоно. Зураг 41.б-д OR гэйтийг хагас дамжуулагч диодоор хэрхэн бүтээдгийг үзүүлэв. Харин зураг 41.в-д хагас дамжуулагч транзистороор NOT гэйт хэрхэн бүтээдгийг харуулжээ. Эдгээр хэлхээг угсраад *A* ба *B* оролтуудад логик төлөвүүдийг өгч *C* үр дүнг логик үйлдлүүдийн үнэний хүснэгтүүдтэй тулгаж шалгаарай.

Логик үйлдлүүдийн хэрэглээ

Зураг 42. Хоёр товчлуурт төхөөрөмж

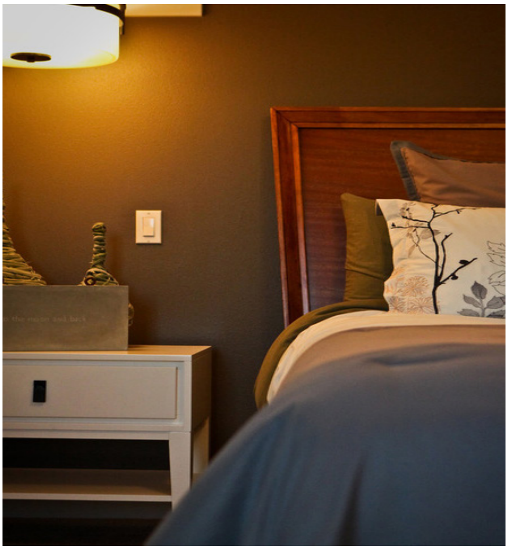
Амьдралд логик үйлдлүүд нь автомат төхөөрөмжийн үндэс болдог. Маш энгийн тоног төхөөрөмжүүдээс эхлээд нарийн төвөгтэй үйлдэл хийдэг төхөөрөмжүүд хүртэл бүгд логик үйлдлүүдийн тусламжтай ажиллана. Жишээлбэл хэвлэх үйлдвэрийн цаас зүсэгч машин ажиллуулж буй хүн зөвхөн хоёр гараараа хоёр товчлуурыг зэрэг дарсан нөхцөлд машины хутга ажиллаж цаасыг зүсдэг (Зураг 42). Хэрэв нэг товчлуур дараад ажиллуулдаг байсан бол ажиллуулж буй хүн



Зураг 43. Хулгайн дохиолол

аль нэг гараа хутган доор байлгаж байж болзошгүй учир осол гарах магадлалтай. Ийм удирдлагын товчлууруудыг AND логик хэлхээгээр хийнэ.

Орон байранд суурилуулдаг хулгайн дохиолол маш хялбар хийж болно. Логик OR үйлдлээр холбогдсон S1, S2, S3 түлхүүрүүдийг хаалга болон цонхнуудад байрлуулна. Цонхнууд болон хаалгыг онгойлгосон үед түлхүүр залгагдана. Харин бусад түлхүүрүүдтэй AND үйлдлээр холбогдсон S4 түлхүүрийг хаалганы цоожинд суулгах ба түлхүүрээр түгжихэд залгагдаж, түлхүүрээр цоожийг нээхэд салгагдана. Иймд хаалгаа цоожлоод гарсны дараа хаалга болон цонхнуудын аль нэгийг хүчээр онгойлговол LB хонх дуугарна. Үүнийг $LB=(S1+S2+S3)\cdot S4$ гэж бичиж болно.



Зураг 44. Орны дэргэдэх XOR унтраалга

Унтлагын өрөөний чийдэнг хоёр унтраалгаар удирдах хэрэг гардаг. Энэ хэлхээг XOR логик хэлхээг ашиглан хийвэл аль ч унтраалгаар гэрлийг асааж, унтрааж болно. Өрөөний хаалганы дэргэд нэг унтраалга, орны дэргэд нэг унтраалга байрлуулна. Өрөөнд орж ирмэгцээ хаалганы дэргэдэх унтраалгаар гэрлээ асаагаад, орондоо ороод орны дэргэдэх унтраалгаар унтраана. Өглөө сэрээд орны дэргэдэх унтраалгаар гэрлээ асаагаад, гарахдаа хаалганы дэргэдэх унтраалгаар унтраана. Үүнтэй яг ижил хоёр унтраалгатай гэрлийг хашаанд хийж болно. Гэрийн хаалганы дэргэд нэг унтраалга, хашааны хаалганы дэргэд өөр унтраалга байрлуулна. Гэрээсээ гарахдаа хашааны гэрлээ асаагаад, хашаанаас гарахдаа унтраах ба гаднаас ирээд хашааны хаалганы дэргэдээс асаагаад гэртээ ороходоо унтраана.

Булийн алгебр

Логик үйлдлийн үр дүнг алгебрийн илэрхийлэл хэлбэрээр бичих логик алгебрийн зарчмыг Английн математикч Жорж Буль (1815-1864) нээсэн учир Булийн алгебр үүсчээ. Логик хэлхээний үйл ажиллагааг математик хэлбэрээр илэрхийлж, түүнийг хялбарчлах замаар хамгийн цөөн элементтэй хэлхээ бий болгоход Булийн алгебр чухал үүрэгтэй.

Булийн алгебрт дараах адилтгалууд хэрэгжинэ.

AND үйлдлийн хувьд:

1.	$A\cdot 0=0$	Логик өгөгдөл юм уу илэрхийллийг “0”-ээр үржвэл үр дүн үргэлж “0” гарна.
2.	$A\cdot 1=A$	Логик өгөгдөл юм уу илэрхийллийг “1”-ээр үржвэл тухайн өгөгдөл буюу илэрхийлэл өөрөө гарна.

3.	$A \cdot A = A$	Логик өгөгдөл юм уу илэрхийллийг өөрөөр нь үржвэл тухайн өгөгдөл буюу илэрхийлэл өөрөө гарна.
4.	$A \cdot A = 0$	Логик өгөгдөл юм уу илэрхийллийг үгүйсгэлээр нь үржвэл үр дүн үргэлж “0” гарна.

OR үйлдлийн хувьд:

1.	$A + 0 = A$	Логик өгөгдөл юм уу илэрхийлэл дээр “0” нэмбэл тухайн өгөгдөл буюу илэрхийлэл өөрөө гарна.
2.	$A + 1 = 1$	Логик өгөгдөл юм уу илэрхийлэл дээр “1” нэмбэл үр дүн үргэлж “1” гарна.
3.	$A + A = A$	Логик өгөгдөл юм уу илэрхийлэл дээр өөрийг нь нэмбэл тухайн өгөгдөл буюу илэрхийлэл өөрөө гарна.
4.	$A + \overline{A} = 1$	Логик өгөгдөл юм уу илэрхийлэл дээр үгүйсгэлийг нь нэмбэл үр дүн үргэлж “1” гарна.

XOR үйлдлийн хувьд:

1.	$A \oplus 0 = A$	Логик өгөгдөл юм уу илэрхийлэл дээр “0”-ийг XOR нэмбэл тухайн өгөгдөл буюу илэрхийлэл өөрөө гарна.
2.	$A \oplus 1 = \overline{A}$	Логик өгөгдөл юм уу илэрхийлэл дээр “1”-ийг XOR нэмбэл үгүйсгэл нь гарна.
3.	$A \oplus A = 0$	Логик өгөгдөл юм уу илэрхийлэл дээр өөрийг нь XOR нэмбэл үр дүн үргэлж “0”
4.	$A \oplus A = 1$	Логик өгөгдөл юм уу илэрхийлэл дээр үгүйсгэлийг нь XOR нэмбэл үр дүн үргэлж “1” гарна.

NOT үйлдлийн хувьд:

1.	$\overline{\overline{A}} = A$	Логик өгөгдөл юм уу илэрхийллийг хоёр дахин үгүйсгэвэл тухайн өгөгдөл буюу илэрхийлэл өөрөө гарна. Өөрөөр хэлбэл үгүйсгэлийн үгүйсгэл өөрөө байна.

Булийн алгебрийн чанарууд

1.	$A + B = B + A$ $A \cdot B = B \cdot A$	Байр солиход үр дүн өөрчлөгдөхгүй.
2.	$A + (B + C) = (A + B) + C$ $A \cdot (B \cdot C) = (A \cdot B) \cdot C$	Ижил үйлдлүүдийн хувьд дараалал хамаарахгүй.
3.	$A + B \cdot C = (B \cdot C) + A$	AND үйлдэл OR үйлдлээс давуу эрхтэй байна.
4.	$A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$	OR үйлдэл давуу эрхтэй бол хаалтанд хийж болох ба хаалт нээх чанар хэрэгжинэ.

Логик илэрхийллийн хувьд дээрх адилтгал, чанарууд хэрэгжих учир бичигдсэн илэрхийллийг хялбарчилж болно. Илэрхийлэл хялбарчлах зарим жишээг авч үзье.

Жишээ: $A + A \cdot B = A \cdot (1 + B) = A \cdot 1 = A$

Хаалт нээх чанарыг ашиглан A-г хаалтны гадна гаргавал хаалтанд $1 + B$ үлдэх ба энэ нь OR үйлдлийн хоёр дахь адилтгалаар "1" байна. Иймд эцсийн үр дүн AND үйлдлийн хоёр дахь адилтгалаар A болж байна.

Жишээ: $A + \overline{A} \cdot B = (A + A \cdot B) + \overline{A} \cdot B = A + A \cdot B + \overline{A} \cdot B = A + B \cdot (A + \overline{A}) =$
$= A + B \cdot 1 = A + B$

Хялбарчлахын тулд өмнөх жишээг ашиглан эхний A гишүүнийг $A + A \cdot B$ гэж бичээд B-г хаалтнаас гаргавал хаалтанд $A + \overline{A} = 1$ болох учир эцсийн үр дүн $A + B$ болж байна.

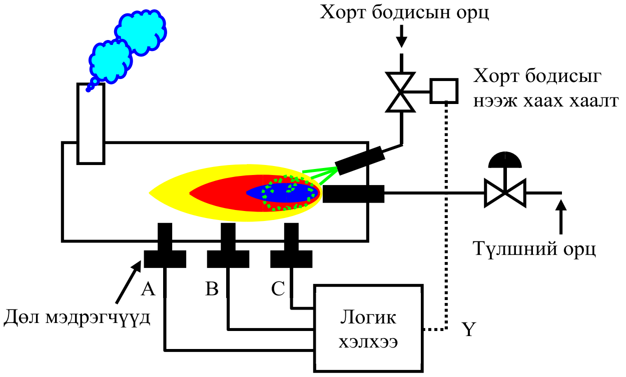
Жишээ: $(A + B) \cdot (A + C) = A \cdot A + A \cdot C + A \cdot B + B \cdot C = A + A \cdot B + B \cdot C = A + B \cdot C$

Хаалт нээх чанарыг ашиглан бичвэл $A \cdot A + A \cdot C + A \cdot B + B \cdot C$ болох ба хамгийн эхний $A \cdot A = A$ бөгөөд өмнөх жишээнээс $A + A \cdot C = A$ болох бөгөөд дахин $A + A \cdot B = A$ болж улмаар эцсийн үр дүн $A + B \cdot C$ болж байна.

$(A + B) \cdot C + \overline{A}$ илэрхийллийг хялбарчил. (хариу: $A + C$)

Хувилбарт логик хэлхээ

Илүү төвөгтэй логик илэрхийллээр зохиож гаргасан хэлхээг хувилбарт логик хэлхээ гэж нэрлэдэг. Тодорхой жишээн дээр авч үзье. Үйлдвэрийн процессоос ялгардаг хорт бодисыг шатааж устгахгүй бол байгаль орчин бохирдуулна. Мөн шатаах явцад бодис дутуу шатвал мөн л орчин бохирдуулна. Иймд шатаах зууханд хорт бодис бүрэн шатаж байгаа эсэхийг нягталж байж хорт бодисыг зуух руу оруулдаг, үгүй бол хаадаг автомат хийх хэрэгтэй болжээ (Зураг 45).



A	B	C	Y	
0	0	0	**0**	
0	0	1	**0**	
0	1	0	**0**	
0	1	1	**1**	$\overline{A} \cdot B \cdot C$
1	0	0	**0**	
1	0	1	**1**	$A \cdot \overline{B} \cdot C$
1	1	0	**1**	$A \cdot B \cdot \overline{C}$
1	1	1	**1**	$A \cdot B \cdot C$

Зураг 45. а. Хорт бодис шатаах зуухны бүдүүвч, б. Логик хэлхээний үнэний хүснэгт

Галын дөл шар, улаан, хөх гэсэн гурван өнгөтэй байдаг ба ядаж хоёр өнгө нь байвал шаталт бүрэн явагдаж байна гэж үзэж болно. Иймд өнгө мэдэрдэг фото-резистор гурвыг байрлуулж эдгээр өнгийн дөлүүд байгаа эсэхийг мэдэрч болно. Тэгэхээр A, B, C гурван мэдрэгчийн хувьд гурвуулаа "0" буюу огт галгүй төлөвөөс эхлээд гурвуулаа "1" буюу бүрэн шаталт явагдаж буй төлөв хүртэл найман хувилбар бий болно. Зураг 45.б-д үнэний хүснэгтийг харуулав. Ядаж хоёр дөл болон гурван дөлтэй байх тохиолдлуудад хорт бодисыг зуух руу оруулахыг зөвшөөрсөн Y гаралтын "1" гэсэн утгуудад харгалзах оролтын утгуудыг AND үйлдлээр холбож илэрхийлэл болгон бичнэ. Ингэхдээ оролтын утга "0" утгатай байвал үгүйсгэлээр,

“1” утгатай бол шууд утгаар нь авдаг. Харин эцсийн илэрхийллийг эдгээр үр дүнгүүдээ OR үйлдлээр холбон бичнэ.

$$Y = \overline{A} \cdot B \cdot C + A \cdot \overline{B} \cdot C + A \cdot B \cdot \overline{C} + A \cdot B \cdot C$$

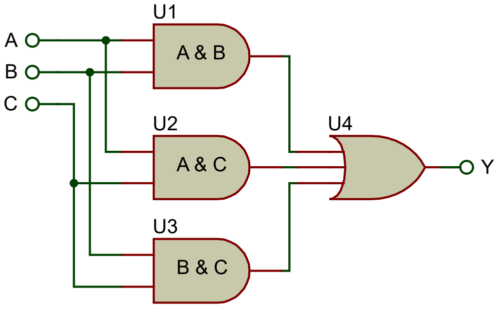
Ийнхүү үүссэн логик илэрхийллээр хэлхээг угсарч болно. Гэвч энэ нь эцсийн логик илэрхийлэл гэж үзэж болохгүй. Учир нь илэрхийллийг хялбарчлах замаар хамгийн богино илэрхийлэл болговол оролцох логик үйлдлүүд буюу электрон элементүүд цөөрнө.

$$Y = \overline{A} \cdot B \cdot C + A \cdot \overline{B} \cdot C + A \cdot B \cdot \overline{C} + A \cdot B \cdot C = B \cdot C \cdot \left(A + \overline{A}\right) + A \cdot \overline{B} \cdot C + A \cdot B \cdot \overline{C} =$$

$$= B \cdot C + A \cdot \overline{B} \cdot C + A \cdot B \cdot \overline{C} = C \cdot \left(B + A \cdot \overline{B}\right) + A \cdot B \cdot \overline{C} = C \cdot \left(A + B\right) + A \cdot B \cdot \overline{C} =$$

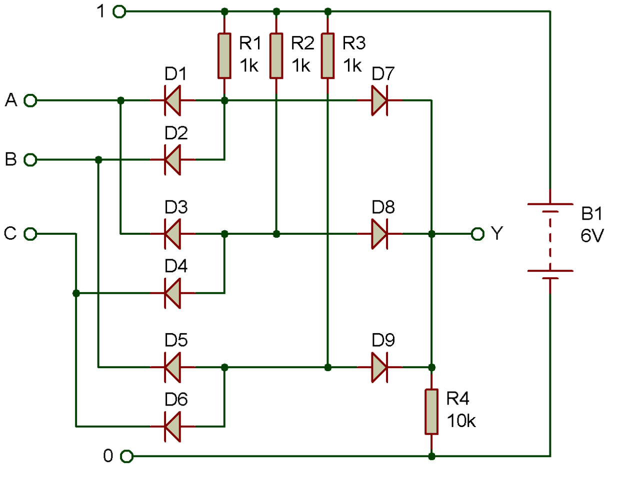
$$= A \cdot C + B \cdot C + A \cdot B \cdot \overline{C} = A \cdot C + B \cdot \left(C + A \cdot \overline{C}\right) = A \cdot C + B \cdot \left(A + C\right) =$$

$$= A \cdot C + A \cdot B + B \cdot C$$



Зураг 46.

Ийнхүү бий болсон хамгийн богино илэрхийллээр угсарсан логик хэлхээг зураг 46–д үзүүлэв.
Ийм төхөөрөмжийг логик гэйтүүдээр хийх бөгөөд гэйтүүдийг хагас дамжуулагч диодуудаар бүтээдэг болохыг үзсэн билээ. Тэгвэл энэ хэлхээнд нийт 9 хагас дамжуулагч диод оролцоно.



Зураг 47.

Зураг 47-д үзүүлсэн хэлхээний D1-D2, D3-D4, болон D5-D6 диодууд AND гэйтүүдийг бий болгох бөгөөд D7-D8-D9 диодууд OR гэйтийг бий болгосноор хэлхээ зураг 46-д үзүүлсэн логик хэлхээтэй эквивалент болно.

A, B, C оролтуудыг “0” тэмдэгтэй цэгт холбовол логик “0” утгатай, “1” тэмдэгтэй цэгт холбовол логик “1” утгатай болно. Энэхүү хэлхээг хагас дамжуулагч диодууд болон резисторууд ашиглан угсарч ажиллагааг шалгаарай. Ингэхдээ R4 резисторын оронд гэрэлт диод буюу LED холбовол ажиллагааг шалгахад илүү хялбар болно.

БҮЛЭГ 5. ХЭМЖИЛТИЙН ҮР ДҮНГ БОЛОВСРУУЛАХ

Хэмжилтийн нарийвчлал ба тооны утгат орон

Хэмжилтийн үр дүн хэр нарийн байх нь хэмжих багажийн нарийвчлал, хэмжилтийн аргаас голчлон шалтгаалдаг.

Библид ертөнцийн эзэн 6000 жилийн өмнө 6 өдөрт багтааж ертөнцийг бүтээсэн гэдэг. Шинжлэх ухаан дэлхийн насыг тооцоолохдоо голчлон ураны цацраг идэвхт задралын хуульд түшиглэдэг. Эрт галвын үлэг гүрвэлийн насыг тогтоохдоо С-14 изотопын цацраг идэвхит задралыг ашигладаг. Энэ нь сансрын туяаны үйлчлэлээр азот-14 изотопоос үүсдэг, дэлхийн агаар мандал дахь С-14 ба С-12 изотопын харьцаа цаг хугацааны явцад тогтмол байсан гэсэн санаанд түшиглэдэг. Хэрэв ураны задрах хууль, С-14 изотопын харьцаа тогтмол байх зарчим алдаатай бол дэлхий ба үлэг гүрвэлийн насыг тогтоосон хэмжилтийн үр дүн эргэлзээтэй болоход хүрнэ. Мөн нэгжийн нарийвчлалаас хэмжилтийн үр дүнгийн нарийвчлал шууд хамаардаг. Жилийг ойролцоогоор 365 хоногоос, Юрий Цейзерийнхээр 365.25 хоногоос, хамба лам Григорийнхоор 365.24 25 хоногоос тогтоно гэж үзээд цаг тооллыг боловсруулахад ялгаатай үр дүн гарна. Нэгжийн нарийвчлал бага байх тутам хэмжилтийн үр дүн ойролцоо алдаа ихтэй болдог.

Багажийн хэмжих хязгаар ба нарийвчлал

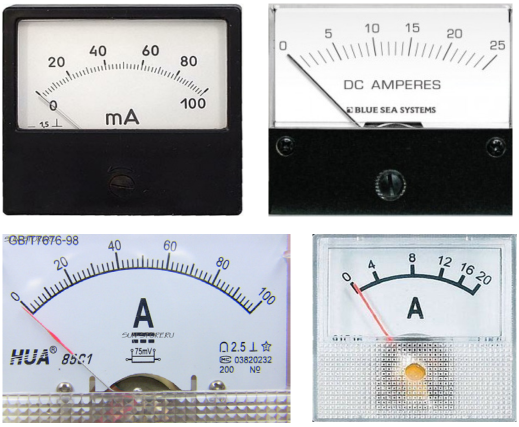
Багажийн нүүрнээс ямар багаж болохыг нүүрэн дээрх нэгжээр нь таньж болно. Багажийн хэмжих дээд хязгаарыг цахилгаан багажийн холбох шон ба нүүрний хуваарийн дээд утгаас харж болно. Зурагт үзүүлсэн багажийн нүүрэн дээрх А үсэг нь амперметр болохыг харуулж байна. Утас холбох 3 шон байна. Түүний нэг нь хар өнгөтэй, нөгөө хоёр нь улаан өнгөтэй байна. Энэ нь тогтмол гүйдлийн амперметр болохыг нь харуулж байна. Тогтмол гүйдлийн багаж DC, хувьсах гүйдлийн багаж AC гэсэн тэмдэглэгээтэй байж болно.

Улаан өнгөтэй шонд гүйдлийн орох талыг, хар өнгөтэй шонд гарах талыг холбодог. Дундах шонгийн хажууд 0.6, захын шонгийн хажууд 3 гэсэн бичиг байна. Энэ нь 0.6 А ба 3 А хүртэл гүйдлийн хүчийг хэмжих оролтын шонгууд болохыг харуулна. Багажийн дэлгэц дээр хоёр хуваарь байна. Дээд хуваарийн хэмжих хязгаар 3 А, доод хуваарийн хэмжих хязгаар 0.6 А. Багажаар хэмжиж болох хамгийн их заалтын утгыг хэмжих хязгаар гэнэ. Оролтын аль шонд холбосноос хамаарч аль хуваариар заалтыг авах нь хамаарна.

Дээд хуваарийн 0-1 А завсарт 10 хуваарь, харин доод хуваарийн 0-0.2 А завсарт 10 хуваарь зурагдсан байна. Багажаар хэмжих хамгийн нарийн утгыг **хуваарийн үнэ** гэдэг. Дээд хуваарийн үнэ 1/10=0.1 А, доод хуваарийн үнэ 0.2/10=0.02 А болохыг харуулна. Дэлгэцийн доор 2.5 гэсэн тоо байна. Энэ нь багажийн анги буюу хэмжилтийн утгын алдааны хувь юм. Иймд заалт 2.5% харьцангуй алдаатай ажээ. Зүүтэй буюу аналоги амперметр, вольтметр 0.1; 0.2; 0.5; 1.0; 1.5; 2.5; 4.0 ангид ангилагддаг.

Заалтын алдааг хуваарийн үнэтэй тэнцүү, эсвэл хагасыг нь нүдэн баримжаагаар харж чадна гэж үзвэл хуваарийн үнийн хагасаар авдаг. Иймд дээрх амперметрийн зүүний заалт 2.1 байсан гэвэл хэмжилтийн утга (2.10±0.05) А байна. Багажийн ангиллаас үүсэх алдаа $2.1\cdot\frac{2.5}{100}=0.05$ байгаа нь дээрх бичиглэлтэй нийцэж байна.

Дасгал Дараах багажуудын ямар багаж болох, хэмжих дээд хязгаар, хуваарийн үнэ зэргийг олж хэлэлцэнэ үү.

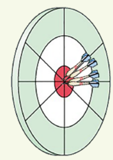
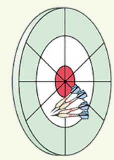
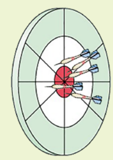
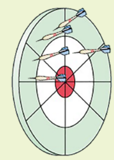


Дараах зурагт гурван багажаар цахилгаан зайн диаметрийг хэмжжээ.

Ердийн миллиметрийн хуваарьтай шугамаар хэмжсэн үр дүн 10 мм орчим байна. Миллиметрийн хуваарьтай шугамын хуваарийн үнэ 1 мм. Хуваарийн үнийн хагасыг нүдээрээ харж чадна гэвэл цахилгаан зайн диаметр 9.5 мм–ээс их, 10.5 мм-ээс бага буюу (10 ± 0.5) мм болно. Хоёрдахь зурагт штангенциркулийн заалт (10.2 ± 0.1) мм. Багажийн нарийвчлал 0.1 мм. Гуравдахь зурагт (10.23 ± 0.01) мм. Үнэн гэж үзсэн тооны орон ихсэх тутам нарийвчлал улам сайжирдаг. Үнэн зөв хэмжсэн гэж үзэж байгаа тооны орнуудын нийт тоог ***утгат орон*** гэдэг.

Хэмжилтийг нарийн хийхийн тулд өндөр нарийвчлалтай багаж ашиглах шаардлагатай болдог.

Багажийн заалт гарах ёстой жинхэнэ утганд хэр ойр байгааг ***хазайлт*** (accuracy), хэмжилтийн алдаа хэр зэрэг тэгд ойр байгааг ***нарийвчлал*** (precision) заадаг. Хазайлтыг ихэвчлэн *байнгын* буюу *систематик* алдаа, нарийвчлалыг санамсаргүй алдаагаар илэрхийлдэг. Олон удаагийн хэмжилтээр арилахгүй байгаа алдааг ***байнгын***, хэмжээ нь багасаж байгаа алдааг ***санамсаргүй*** гэдэг. Санамсаргүй алдааг багасгахын тулд хэмжилтийг 3 -аас доошгүй давтан гүйцэтгэж дундаж утгыг олдог.

	Хазайлт бага	Хазайлт их
Нарийвчлал сайн		
Нарийвчлал муу		

Санамсаргүй алдаа нь тооцож хянаж үл болох хүчин зүйлээс үүсдэг. Агаарын урсгал, гарын чичиргээ, хараны ба сонголын инерц, жишүү харах гэх мэт санамсаргүй шалтгаанаар үүсдэг.

Тооны нарийвчлалыг бичих үндсэн хоёр арга бий. Үүнд:

1. Утгат орноор илэрхийлэх. Жишээ: 10.2 мм (3 утгат цифр)
2. Алдааны интервалаар илэрхийлэх. Жишээ: (10.2 ± 0.1) мм

Утгат орныг significant figure буюу товчоор sig - fig (SF) гэж тэмдэглэдэг. Утгат орноор илэрхийлэх арга нь илүү энгийн, ойролцоо тойм арга юм. Энд тооны хамгийн сүүлийн орон алдаатай орныг заадаг. Дээрх хуруун зайн диаметрийн заалтыг 10 мм гэж бичвэл, 1 нь үнэн, тэг нь ойролцоо учраас арав орчим гэсэн утга илэрхийлнэ. Иймд бодит утга 6 мм–ээс 14 мм–ийн завсарт оршиход хүрнэ. Тэгвэл тэг нь үнэн, түүний дараагийн орон алдаатай гэвэл яаж бичих вэ? Энд утгат орныг илэрхийлэх дараах дүрмийг баримталдаг.

Энд тэгээр төгссөн бүхэл тоо хэдэн утгат цифрээр илэрхийлэгдсэн нь тодорхойгүй байдаг.

Утгат орныг тогтоох дүрэм

Дүрэм №1 Тэг биш (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) цифр бүгд – SF

Ж: 412 (3 SF); 934.12 (5 SF)

Дүрэм №2 Тэг биш (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) тооны хооронд хавчуулагдсан тэг –SF

Ж: 4102 (4 SF); 4100.0203 (8 SF)

Дүрэм №3 Бутархайн тэмдэг (Decimal's point) -ийн өмнөх тэг –SF. Бутархайн тэмдэггүй бүхэл тооны арын тэг – SF биш.

Ж: 4100.12 (6 SF); 38500. (5 SF); 41000 (2 SF); 38500 (3 SF); $200 \cdot 10^4$ (1 SF)

Дүрэм №4 Тэгээр эхэлсэн тооны бутархайн тэмдэг хүртэлх тэг SF –д орохгүй.

Ж: .0032 буюу 0.0032 (2 SF); 0.000102 (3 SF)

Дүрэм №5 Бутархайн тэмдэгтэй тооны тэг биш цифрийн хойтох тэг - SF.

Ж: 0.003200 (4 SF); 0.00401000 (6 SF); 1.000 (4 SF)

Асуудал: Нэгж шилжүүлснээр хэмжилтийн нарийвчлал өөрчлөгдөх болов уу?

Хэмжилтийн тоон холбогдлын нэгж шилжүүлснээр тооны орон өөрчлөгдөнө, гэвч илүү үнэн, нарийвчлалтай болохгүй. Тэгвэл утгат орон буюу үнэн орны тоо өөрчлөгдөх ёсгүй.

- 420 км= 420 000 м= 420 000 00 см
- 1.2 мм = 0.12 см = 0.0012 м
- 0.20 см= 0.0020 м= 2.0 мм

Өгөгдсөн утгат орон хүртэл тоймлох жишээ үзье.

Жишээ	4 SF хүртэл	3 SF хүртэл	2 SF хүртэл	1 SF хүртэл
62.6851	62.69	62.7	63	60
18.0084	18.01	18.0	18	20
0.0064873	0.006487	0.00649	0.0065	0.006
31843.2	31840	31800	32000	30000

Дасгал Дараах тоонуудыг хаалтад заасан утгат орон хүртэл тоймлоно уу.

Жишээ: 1.234 (2 SF) 1.2

1. 0.6403 (2 SF) ________
2. 12.700 (2 SF) ________
3. 13,700.00 (2 SF) ________
4. 0.000836 (2 SF) ________
5. 123342.9 (5 SF) ________
6. .005600 (1 SF) ________
7. $2.0 \cdot 10^{-3}$ (1 SF) ________
8. 3.456110 (1 SF) ________

Стандарт бичиглэл

Тэгээр төгссөн тооны утгат орон тодорхойгүй байдаг учир түүнийг тодруулах зорилгоор тоог арвын зэрэг хэлбэрт оруулж эмхэтгэж бичдэг. Энэ нь олон оронтой тоог эмхэтгэж бичих үндсэн арга учир стандарт бичиглэл (scientific notation) гэж нэрлэдэг. Эхний тэг биш цифрийн араар таслалын орон болох цэгийг бичиж бусад орныг зэрэгт оруулна.

Зөв бичиглэл:

150 000 000 км = $1.5 \cdot 10^8$ км = $1.5 \cdot 10^{11}$ м

Буруу бичиглэл: $150 \cdot 10^6$ км

Дасгал Дараах тоонуудыг утгат орныг тооцон стандарт бичиглэлд оруулна уу.

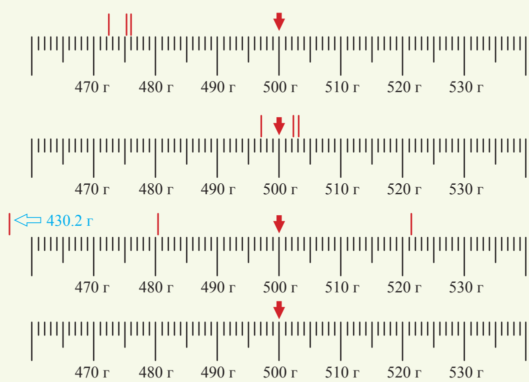
1. 15.280 = ______________
11. 2,560 = ______________

2. 2,000 = ______________	12. .0009 = ______________
3. 15 = ______________	13. 8,900,000 = ______________
4. 6,589,000 = ______________	14. .0920 = ______________
5. 70,400,000,000 = ______________	15. 6,300 = ______________
6. .00263 = ______________	16. .90 = ______________
7. .00589 = ______________	17. 250 = ______________
8. .006 = ______________	18. .006087 = ______________
9. .400 = ______________	19. 500,000 = ______________
10. .08060 = ______________	20. .0000000105 = ______________

Дасгал Хазайлт ба нарийвчлал

Хэмжилтийг өөр өөр баг, хэд хэдэн удаа давтан гүйцэтгэхэд гарах үр дүн нь ялгаатай гардаг. Жишээ болгож 500.0 г –ийн савлагаатай ууттай элсэн чихрийг өөр өөр аргаар хэмжсэн дүнг үзүүлэв. Хүснэгтийн дутуу нүдийг бөглөнө үү. 4-р багийн хэмжилтийг өмнөх багуудын хэмжилтээс ялгаатай байхаар тооцоолж өөрсдөө нөхөж бичээрэй.

Баг	хэмжилт	дундаж	хазайлт	нарийвчлал	Зургаар дүрсэлбэл
№ 1	472.4 г 476.0 г 475.3 г	**474.6 г**	их	сайн	
№ 2	503.5 г 502.8 г 497.4 г	**501.2 г**			
№ 3	430.2 г 480.5 г 521.6 г	**477.0 г**			
№ 4					



Дасгал Хоёр багийн хүндийн хүчний хурдатгалыг хэмжсэн дүнг үзүүлжээ. Хүснэгтийн дутуу нүдийг бөглөнө үү.

Хэмжилтийн үр дүн	хазайлт	нарийвчлал
(9.05±0.05) $мс^{-2}$		
(9.78±1.20) $мс^{-2}$		муу

Дасгал Утгат орноор илэрхийлэгдсэн тооны хооронд үйлдэл яаж хийгдэх вэ?

Хэмжилтийн үед ялгаатай нарийвчлал бүхий хэд хэдэн багаж хэрэглэх тохиолдол элбэг байдаг. Дүүжингийн хэлбэлзлийг ашиглаж хүндийн хүчний хурдатгал олох туршилтад утасны урт ба хэлбэлзлийн үеийг олоход шугам ба секундомер хэрэглэнэ. Эдгээр нь өөр нарийвчлалтай. Тэгвэл ялгаатай утгат оронтой тооны хооронд үйлдэл хийсний дараа үр дүнгийн утгат орныг хэрхэн авах вэ?

Үйлдэл	Дүрэм	Жишээ
Нэмэх/ хасах	Утгат орноор илэрхийлэгдсэн тоонуудын хооронд нэмэх/ хасах үйлдэл хийхдээ алдаатай ахлах орноор тоймлоно. Энд тооны SF буюу утгат орныг харгалзахгүй.	$26\underline{7} + 11.\underline{8} = 27\underline{8.8} = 27\underline{9}$ Аравны орон алдааны завсарт багтах учир нэгжийн орноор тоймлоно.
Үржүүлэх/ хуваах	Утгат орноор илэрхийлэгдсэн тоонуудыг үржүүлэх/ хуваахдаа хамгийн бага утгат орноор тоймлоно.	$477.85 \div \underline{32.6} = 14.657975 = \underline{14.7}$ 32.6 нь 3 утгат оронтой учир хариу 3 утгат орноор тоймлогдоно. $322.45 \text{ x } 12.75 \text{ x } \underline{3.92} = \underline{\mathbf{161}}16.051 = \underline{161}00$

Дасгал Хариуны тоймлох орны доогуур зурж тэмдэглэнэ үү.

XXX.XXX + XX.X = XXXX.XXX	XXX - XX.XX = XX.XX	$\frac{XXX.X}{X.XX}\cdot 0.XX = X.XXX$	$\frac{(XXX + XX.X)\cdot 5\,SF}{4\,SF} = XX.XXX$

Дасгал Утгат орноор тоймлосон тооны хооронд үйлдэл хийх дүрмийг баримтлан дараах үйлдлийг хийнэ үү.

	Тоймлохоос өмнө	Эцсийн хариу
Жишээ: 134.8 + 27.67 =	162.47	162.5
1. 109.5 + 24.02 =	____________	____________
2. 66.341 + 902.10 =	____________	____________
3. 88.001 – 56.7 =	____________	____________
4. 5696.10 – 34.0010 =	____________	____________
5. 32.1 + 354.98 – 224.775 =	____________	____________
6. 412.667 + 22.11 + 15.6 =	____________	____________
7. 5286.445 – 26.0005 – 13.112 =	____________	____________
8. 3.468 – 2.4 + 13.67 – 117.11119 =	____________	____________

	Тоймлохоос өмнө	Эцсийн хариу
Жишээ: 34.8 x 27.67 =	962.916	963
1. 109.5 x 24.02 =	______________	______________
2. 66.341 x 902.10 =	______________	______________
3. 88.001 ÷ 56.7 =	______________	______________
4. 5696.10 x 34.0010 =	______________	______________
5. 32.1 x 354.98 ÷ 224.775 =	______________	______________
6. 1.68 x 2.45 ÷ 5.912 =	______________	______________
7. 432.721 ÷ 13.2467 ÷ 21.44 =	______________	______________

Хүснэгтэн мэдээлэл

Хэмжилтийн тоон утгыг хүснэгтэд бичдэг. Голчлон хүснэгтийн баганын толгой буюу эхний мөрөнд баганын дагуу бичигдсэн хэмжигдэхүүний нэр, нэгж, масштабын коэффицентийг бичнэ. Масштабын коэффицент гэдэг нь тухайн баганын тоо бүрийг үржүүлэх хураангуйлсан тоо юм.

Хүснэгтийн гарчиг

Хүснэгт дээр ямар хэмжигдэхүүнүүдийн хамаарлыг илэрхийлснийг товч хураангуй гарчиглана.

Баганын толгой

Баганын толгойд хэмжигдэхүүнийг гурван янзаар бичнэ.

A. Англи бичиглэл. Хэмжигдэхүүний нэр эсвэл тэмдэглэгээг нэгжээс хуваах тэмдгээр ялгана.

L / cm, *V*/ V, *t*/ s, *time*/ s

B. Орос бичиглэл. Хэмжигдэхүүний нэр эсвэл тэмдэглэгээг нэгжээс таслалын тэмдгээр ялгана.

L, см, *U*, В, *t*, с, *время*, с

C. Япон бичиглэл. Хэмжигдэхүүний нэр эсвэл тэмдэглэгээг нэгжээс хаалтаар ялгана.

L (см), *U* (В), *t* (s), *хугацаа* (с)

Буруу бичиглэл: зөвхөн нэр, эсвэл нэгж бичих, эсвэл хоосон орхих

Тоон өгөгдөл

- Хэмжилтийн цэг 6–аас доошгүй байх ёстой.
- Хэмжилт хийх мужийг аль болох бүрэн жигд хамарч хэмжилтийн утгуудыг авна.
- Бутархайн орны тоо жигд байх ёстой. Таслалаар жигдэлж бичнэ.
- Өгөгдлийн завсрын боловсруулалт хийхдээ тооны утгат орныг анхдагч тоотой адил юм уу, нэг орноор илүү авч явах ёстой.
- Тоо хэт олон оронтой тоогоор, эсвэл хэт бутархайн орноор илэрхийлэгдэж байгаа бол түүнийг стандарт хэлбэрт шилжүүлэх, масштабын коэффицент хэрэглэх, угтварт нэгж хэрэглэх замаар хураангуйлна.
- Тооны утгат орон ба хэмжилтийн нарийвчлал нь багажийн заалт, хэмжилтийн нарийвчлал, хуваарийн үнэтэй дүйцэж байх ёстой.

Дасгал Дараах хүснэгтэн өгөгдлүүдийн алдааг олно уу.

A. Дараах хүснэгтэд 15 см–ээс 75 см завсарт тэргэнцрийн явсан зам- хугацааны хамаарлын хоёр төлөвлөлтийг үзүүлжээ.

d	*t*	*d* / см	*t* / с
18.0 см		20	
30.0 см		22.0	
40.0 см		26.0	
50.0 см		44.0	
60.0 см		68.0	
70.0 см		70	

B. x хэмжигдэхүүний завсрын боловсруултыг үзүүлжээ.

x	x^3	x	x^3
6.52	277.17	6.52	277.2
6.53	278.45	6.53	278
6.54	279.73	6.54	279

C. Сурагч 1^oC хуваарийн үнэтэй шилэн термометр ашиглан усны температурыг хэмжжээ.

θ / ^oC	t / c
22.0	
35.50	
47	
58.6	
77	

D. Ангийн сурагчдын амжилтын судалгаа хийжээ. Анги 35 сурагчтай. Судалгаагаар “нийт сурагчдын 22 буюу 62,86% нь хэмжилтийн үр дүнг боловсруулах аргад суралцсан” гэжээ.

E. Эсэргүүцлийг тооцоолжээ.

V / B	I / A	R / Ω
3.0	1.43	2.097
4.0	1.57	2.548
5.0	1.99	2.512
6.0	2.45	2.45
7.0	3.02	2.318

Хэмжилтийн алдаа

Хэмжилтээр хэмжиж байгаа зүйлийн “жинхэнэ” утгыг олохыг хичээдэг. Гэхдээ “жинхэнэ” утга гэж юу юм бол? Энэ талаар юу гэж бодож байна вэ?

1. Магадгүй жинхэнэ утга төгсгөлгүй оронтой тоо байж болох юм. 1909 онд анх Милликен дуслын арга ашиглан электроны цэнэгийг $1.45 \cdot 10^{-19}$ Кл гэж тодорхойлжээ. Одоо электроны цэнэгийн хэмжээ $1.602\ 176\ 620\ 8(98) \cdot 10^{-19}$ Кл гэж үздэг. СИ –д электроны цэнэгийг 11 утгат орноор илэрхийлсэн байна. Сүүлийн хоёр орноос өмнөх орон шинжлэх ухаанд хөдөлгөөнгүй яг таг тодорхойлогдсон гэж үзнэ. Иймд энэ бол зөв тодорхойлогдсон “батлагдсан” орон юм. Шинжлэх ухааны арга технологи нарийсах тутам дараа дараагийн орон батлагдах болно.
2. “Жинхэнэ утга” гэж байхгүй ч байж магад. Үзэгдлийн мөн чанарын хувьд маш нарийн утга олдох боломжгүй байж болох юм. Жишээ нь шааригийн диаметрийг нарийн хэмжих гэж байна гэе. Цэвэр бөмбөрцөгт дөхөх тодорхой хувь байдаг. Шааригийн захыг микроскопоор томруулж харвал тэгш биш байх болно. Цаашлаад молекул, атомын түвшинд очиход хаагуур нь хэмжилтийг авах вэ гэдэг асуулт тодорхойгүй болно. Гейзенбергийн тодорхойгүйн зарчим ёсоор уртыг нэг утгатай тодорхойлох боломжгүй гэж үздэг.
3. Туршилт хийж байгаа хүнд заавал маш нарийн утга шаардлагагүй, тодорхой нарийвчлалтай утга хангалттай байж болно.

Хэмжилтээс авсан тоон утга хэмжих багаж, нарийвчлал, арга, технологи, хэмжиж байгаа зүйл, түүний мөн чанар, туршилт хийж буй орчин, нөхцөл, туршилт хийх тоо, туршигч зэрэг олон хүчин зүйлээс хамааран тодорхой нарийвчлалтай, алдаатай гардаг. Огт алдаагүй төгс хэмжилт гэж байдаггүй.

Яаж алдаа багатай хэмжих вэ? Алдааг хэрхэн илрүүлэх, үнэлэх вэ?

Багажийн алдаа

Хэмжих багаж бүхэн хэмжих доод, дээд хязгаар, хуваарийн үнэ, нарийвчлалтай байдаг. Жишээлбэл бидний хичээлдээ хэрэглэдэг 30см (300мм)–ийн төмөр шугамын сантметрийн хуваарийн зураасны өргөн 0.2 мм, миллиметрийн нарийн хуваарийн

өргөн 0.1 мм байдаг. Температурын нөлөөгөөр төмөр шугам тэлдэг, уярдаг, нугалсны улмаар хэврэгшиж сунадаг. Энэ нь шугамаар хэмжсэн хэмжилт эталон шугамынхаас зөрөхөд хүргэдэг. Миллиметрийн хуваарьтай шугамын алдаа хуваарийн үнийн хагастай тэнцүү буюу ±0.5 мм байна.

200 мм, 0.01 мм хуваарийн үнэтэй механик штангенциркулийн нарийвчлал 0.005 мм буюу 5 мкм байна.

Амперметр, вольтметр, барометр зэрэг зүүтэй аналоги багажийн хэмжилтийн дээд харьцангуй алдааг процентоор илэрхийлж багажийг ангилсан байдаг. 0.1; 0.2; 0.5; 1.0; 1.5; 2.5; 4.0 гэх мэт. 0.5 анги гэдэг нь 0.5% -ийн харьцангуй алдаа гэсэн үг. Ийм багажийн заалт 2.3 А гэвэл түүний абсолют алдаа буюу “жишиг” багажийн заалтаас хамгийн ихдээ $\pm 2.3 \cdot \frac{0.5}{100} \text{A} = \pm 0.01\text{A}$ хэмжээгээр хазайх боломжтой гэсэн үг. Харин багажийн нарийвчлал $\pm \frac{0.1}{2} = 0.05$ А. Иймд багажийн заалтыг 0.05 А нарийвчлалын хүрээнд найдвартай гэж үзэж болно.

Хуваарийн үнэ. Багажийн заалтын хамгийн бага өөрчлөлтийн хэмжээ юм. Зүүтэй багажийн хуваарийн үнийг олохдоо сонгосон хоёр хуваарийн зөрүүг хоорондох зураасны тоонд хувааж олдог.

Жишээлбэл, зурагт үзүүлсэн амперметрийн бүх хуваарь жигд бөгөөд 0-0.2 А завсарт 10 зураас зурагдсан байна. Иймд багажийн хуваарийн үнэ 0.2 А/10=0.02 А болно.

Дижитал багажийн хуваарийн үнэ заалтын сүүлийн орноор илэрхийлэгдэнэ. Зурагт үзүүлсэн амперметрийн хуваарийн үнэ 0.001 А; вольтметрийнх 0.1 В; давтамжийнх 0.01 Гц байна. Харин гүйдлийн хүч, хүчдэл, давтамжийн утгат орон адилхан 4 байна.

Багажийн заалтын абсолют алдаа

Багажийн заалт тогтворжихгүй ихсэж багасаж өөрчлөгдөөд байвал өөрчлөгдөж байгаа дээд доод утгын ялгаврын хагасыг багажийн абсолют алдаа болгож авна. Харин багажийн заалт тогтвортой байгаа бол хуваарийн үнийн хагасыг нүдээр ялгаж чадна гэж үзээд хуваарийн үнийг багажийн заалтын абсолют алдаа болгож авна. Хэрэв багажийн хуваарийн үнийн хагасыг нүдээр ялгаж чадна гэж үзвэл хуваарийн үнийн хагасыг багажийн заалтын абсолют алдаа болгож авна.

Дундаж утга ба санамсаргүй алдаа

Санамсаргүй алдааг илрүүлэх болон багасгах зорилгоор хэмжилтийг олон удаа давтан гүйцэтгэдэг.

Хэмжилтийн дундаж утгыг олохдоо хэмжилт бүрийн утгуудыг нэмээд хэмжилтийн тоонд хувааж олдог.

$$\bar{a} = \frac{a_1 + a_2 + \ldots + a_n}{n}$$

Үүний, a_1, a_2, $\ldots a_n$ хэмжилтийн утгууд, n хэмжилтийн тоо. Хэмжигдэхүүний дунджийг тодорхойлохдоо бусад бүх параметр тогтмол байх үед хэмжсэн хэмжигдэхүүнүүдээр тодорхойлдог.

Дундаж утга нь хэмжилтийн утгуудын дотроос “жинхэнэ” хэмжигдэхүүнд хамгийн дөт оршдог гэдгийг баталдаг. Хэмжилтийн тоо олон болох тутам дундаж утга “жинхэнэ” утгад улам дөхнө.

Сургуулийн практикт хэмжилтийг гурван удаа хийдэг уламжлал тогтжээ.

Хэмжилт бүрийн утгаас дундаж утгыг (эсрэгээр хасаж болно) хасаж хэмжилт бүрийн хазайлтыг олдог.

$$\Delta a_1 = a_1 - \overline{a}$$

$$\Delta a_2 = a_2 - \overline{a}$$

$$...$$

$$\Delta a_n = a_n - \overline{a}$$

Хэмжилтийн санамсаргүй алдааг тооцоолдог олон арга бий. Эдгээрийн дотроос ЕБС–д хамгийн хялбар арга болох арифметик дундаж алдааг олох арга хэрэглэдэг. Хэмжилт бүрийн хазайлтуудын модулийн нийлбэрийг хэмжилтийн тоонд хувааж хэмжилтийн **абсолют алдааг** олдог.

$$\Delta a_{санамсаргүй} = \frac{|\Delta a_1| + |\Delta a_2| + \ldots + |\Delta a_n|}{n}$$

Энэ нь хэмжилтийн утгууд дундаж утгаас дунджаар хэр их хазайж байгааг илэрхийлдэг.

Хэмжилтийн нийт алдаа нь багажийн алдаа ба санамсаргүй алдааны нийлбэртэй тэнцүү байна.

$$\Delta a = \Delta a_{санамсаргүй} + \Delta a_{багаж}$$

Энд дараах гурван тохиолдлыг тооцох хэрэгтэй.

1. Хэмжилтийг олон дахин давтсан ч тоон утга ижилхэн гараад байвал санамсаргүй алдаа багажийн нарийвчлалаас хэтрэхгүй $\Delta a_{санамсаргүй} \ll \Delta a_{багаж}$ байна гэсэн үг. Ийм тохиолдолд хэмжилтийг олон давтах шаардлагагүй, багажийн нарийвчлалаар хэмжилтийн алдааг тооцож авна.

$$\Delta a \approx \Delta a_{багаж}$$

2. Хэмжилтийн тоог олшруулахад санамсаргүй алдаа багасах учир санамсаргүй алдаа багажийн алдаатай жишихүйц ижил эрэмбийн болох үед харгалзах хэмжилтийн тоог цааш нэмэх шаардлагагүй болдог.

$$\Delta a \approx \Delta a_{санамсаргүй} + \Delta a_{багаж}$$

3. Эсрэгээр санамсаргүй алдаа багажийн алдаанаас их үед хэмжилтийн тоог олшруулах боломжгүй бол нийт алдаа болгож санамсаргүй алдаагаа авна.

$$\Delta a \approx \Delta a_{санамсаргүй}$$

Хэмжилтийн алдааг тооцон үр дүнг дараах хэлбэртэй бичнэ.

$$a = \overline{a} \pm \Delta a$$

Абсолют алдаанаас гадна харьцангуй алдааг тооцоолно.

Харьцангуй алдааг олохдоо абсолют алдааг дундаж утгад хувааж олно. Процентоор илэрхийлж болно.

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta a}{\overline{a}}; \quad \varepsilon_a = \frac{\Delta a}{\overline{a}} \cdot 100\%$$

Жишээ:

А. Нэг удаагийн шууд хэмжилтийн алдааг тооцоолох.

Штангенциркулээр цилиндрийн диаметрийг хэмжив: 15.6 мм. Хэмжилтийг давтан гүйцэтгэсэн ч үр дүн хэвээр байв. Штангенциркулийн нарийвчлал 0.1 мм.

Хэмжилтийн үр дүн: $d = (15.6 \pm 0.1)$ мм

Хэмжилтийн харьцангуй алдаа (процентын)

$$\varepsilon_d = \frac{0.1}{15.6} = 0.00641 = 0.641\% \text{ (тоймлоогүй)}$$

$$\varepsilon_d = \frac{0.1}{15.6} = 0.6\% \text{ (тоймлосон)}$$

B. Олон удаагийн шууд хэмжилтийн алдааг тооцоолох.

Секундомерийн тусламжтай дүүжингийн 10 хэлбэлзлийг 5 удаа хэмжив.

t_1=15.3 с; t_2=15.7 с; t_3=15.4 с; t_4=15.5 с; t_5=15.4 с;

Дундаж утга

$$\overline{t} = 15 + \frac{1}{5}(0.3 + 0.7 + 0.4 + 0.5 + 0.4) = 15.48 \text{ с}$$

Ойролцоо тооллын дүрэм ёсоор завсрын үйлдэл хийгдэж байх үед анхдагч утгаас нэг орон илүү авах ёстой байдаг. Энэ нь завсрын тоймлолтоос үүсэх нэмэлт алдааг багасгах зориулалттай юм. Иймд хугацааны дундаж утгын зууны орныг үлдээлээ.

Хэмжилтийн абсолют алдаа

$$\Delta a = \frac{0.18+0.22+0.08+0.02+0.08}{5} = \frac{0.58}{5} = 0.116 \text{ с}$$

Завсрын бодолт учир гурван утгат орноор үлдээв.

$$t = \bar{t} \pm \Delta t = (15.48 \pm 0.116) \text{ с; (тоймлоогүй)}$$

Харьцангуй алдаа

$$\varepsilon_t = \frac{0.116}{15.48} = 0.00749 = 0.749\% \quad \text{(тоймлоогүй)}$$

Одоо дүрмийн дагуу тоймлож эцсийн бичиглэл хийе. Секундомер 0.1 с нарийвчлал-тай учир зууны орон (цэгээс хойших 2 дахь орон) алдааны интервалд хамаарна. Математик үйлдэл хийх замаар багажийн нарийвчлалаас давсан нарийвчлал гаргаж болохгүй. Иймд хугацааг аравны орноор (цэгээс хойших 1 дэх орон) тоймлох нь зүйтэй.

$$t = (15.5 \pm 0.1) \text{ с; (тоймлосон)}$$

Хугацааны абсолют алдаа нэг утгат орноор, дундаж утга гурван утгат орноор тоймлогдож байгаа учир харьцангуй алдаа бага орноор буюу нэг орноор тоймлогдоно.

$$\varepsilon_t = \frac{0.116}{15.48} 0.007 = 0.7\% \quad \text{(тоймлосон)}$$

Энд абсолют алдааг тоймлохдоо дараах дүрэм баримталдаг.

Алдааг тоймлох дүрэм

1. Хэмжилтийн алдааг хоёроос илүүгүй (нэг юм уу хоёр) утгат орноор тоймлодог.
2. Багажийн алдааны нарийвчлалаас абсолют алдааны нарийвчлал хэтрэх ёсгүй. Өөрөөр хэлбэл 0.1 мм–ийн нарийвчлалтай штангенциркулээр олон дахин хэмжилт хийж дундчилснаар хэмжилтийг 0.01 мм–ийн нарийвчлалтай болгох боломжгүй. Учир нь дунджилсны дүнд санамсаргүй алдаа багасах боловч, багажийн алдаа хэвээр үлдэнэ.
3. Абсолют алдааг 2 утгат орноор тоймлосны дараа эхний утгат орны цифр “1”, “2”, “3” байвал алдааг хоёр утгат орноор авна. Харин “4”, “5”, “6”, “7”, “8”, “9” цифрээр эхэлж байвал алдааг нэг утгат орон болгож шилжүүлнэ. Энэ нь абсолют алдааны тоймлолтоос үүсэх алдааг 15%-оос хэтрүүлэхгүй гэсэн зарчмаас үүдэлтэй.

   Жишээлбэл, $2.44 \approx 2$ гэж тоймловол алдаа нь $(2.44 - 2)/2 \approx 0.22 = 22\% > 15\%$, хэрэв $2.44 \approx 2.4$ гэвэл тоймлолтын алдаа

   $(2.44 - 2.4)/2.4 \approx 0.017 = 1.7\% < 15\%$ болно.
4. Абсолют алдааны бага (хамгийн сүүлийн) оронд нийцүүлэн хэмжилтийн үндсэн утгыг тоймлоно. Жишээлбэл, абсолют алдааны сүүлийн орон аравны орныг засварлаж байгаа бол үндсэн утгыг аравны орноор тоймлоно. $14.53 \pm 0.2 \rightarrow 14.5 \pm 0.2$; $75.14 \pm 2.3 \rightarrow 75.1 \pm 2.3$
5. Харьцангуй алдааг абсолют алдаатай ижил дүрмээр тоймлоно.
6. Ойролцоолох гэж буй орноор шууд нэгмөсөн тоймлоно, хойноос нь нэг нэг орноор шатлан эмхэтгэхгүй. Ингэхдээ тоймлох орны арын цифр 5 ба түүнээс их бол дээш нь тоймлоно. Харин 5–аас бага бол доош нь тоймлож орхино. Зарим улсад тэгш тооны арын 5–ыг доош нь тоймлож, сондгой тооны арын 5–ыг дээш нь тоймлох дүрэм үйлчилдэг. Жишээ болгож дараагийн тоог аравны (таслалын ар дахь нэгдүгээр орон) орноор тоймлоё.

   Буруу: $1.\underline{3}462 \approx 1.346 \approx 1.35 \approx 1.4$;

   Зөв: $1.3\underline{462} < 1.3\underline{500}$ учир $1.\underline{3}462 \approx 1.3$

   Буруу: $1.\underline{5}47 \approx 1.55 \approx 1.6$;

   Зөв: $1.5\underline{47} < 1.5\underline{50}$ учир $1.\underline{5}47 \approx 1.5$;

Дасгал Абсолют алдааг тоймлох. Хүснэгтийн хоосон нүдийг бөглөнө үү.

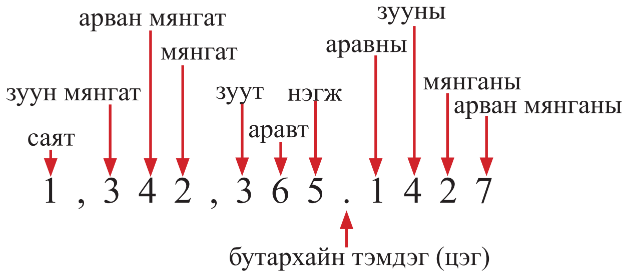
Абсолют алдаа	Тайлбар
$0.154 \approx 0.15$ $1.967 \approx 2.0$ $19.37 \approx 19$ $144.1 \approx 0.14 \cdot \ldots$	1–р дүрэм: хоёроос ихгүй орноор тоймлох учир 3 ба түүнээс хойших орон тоймлогдоно. 3-р дүрэм: эхний тоо 1 ба 2 учир 2 орон үлдээнэ. 5-р дүрэм: 3–аас хойших орныг 5–аас их багыг тооцож тоймлоно.
$0.394 \approx 0.39$ $3.94 \approx \ldots$	
$0.397 \approx 0.4$ $3.97 \approx 4$	
$0.461 \approx 0.5$ $4.48 \approx \ldots$ $41.1 \approx 410$ $4123 \approx \ldots$	
$0.917 \approx 0.9$ $9.17 \approx \ldots$ $91.7 \approx \ldots$ $9123 \approx 9 \cdot 10^2$	
$0.09770 \approx \ \ldots$ $9.56 \approx \ldots$ $956 \approx 1.0 \cdot 10^2$	Эхний тоо 9 боловч 2 орноор тоймлосны дараа 1–ээр эхлэх учир 2 утгат орон үлдээнэ.
$2.45 \approx 2.5$ $2.35 \approx \ldots$	
$3.446 \approx 3.4$	2 утгат орноор тоймлосны дараа эхний тоо 3 учир 2 утгат орноор тоймлоно.
$3951 \approx 4 \cdot 10^3$	Тоймлосны дараа эхний тоо 4 болж дэвшсэн учир нэг утгат орноор тоймлогдоно.

Дасгал: Абсолют алдаанд нийцүүлж дундаж утгыг бичих. Хүснэгтийн дутууг гүйцээнэ үү.

$43.234 \pm 0.0417 \approx 43.23 \pm 0.04$ $32.3754 \pm 0.0917 \approx 32.38 \pm 0.09$	Алдааны эхний тоо 4 ба 9 учир 1 утгат орноор тоймлогдоно. Уг орон нь зууны учир үндсэн утгыг зууны орноор тоймлоно.
$4.3234 \pm 0.0397 \approx \ldots \pm 0.04$ $43.2364 \pm 0.0522 \approx \ldots$ $432.37 \pm 0.0917 \approx 432.37 \pm$	
$432.37 \pm 0.956 \approx 432.4 \pm 1.0$ $432.3477 \pm 2.45 \approx \ldots \pm 2.5$ $43.234 \pm 3.94 \approx 43.2 \pm \ldots$	Алдаа 2 утгат орноор тоймлогдсон. Уг орон аравны учир үндсэн утга мөн адил аравны орноор тоймлогдоно.
$43.234 \pm 3.97 \approx 43 \pm 4$ $432.364 \pm 5.55 \approx 432 \pm 6$ $432.34 \pm 39.4 \approx 432 \pm 39$	
$432.34 \pm 49.1 \approx (4.3 \pm 0.5) \cdot 10^2$ $432.34 \pm 49.1 \approx (43 \pm 5) \cdot \ldots$	Алдаа 1 утгат орноор тоймлогдоно. Иймд илүү орныг зэрэг хэлбэрт шилжүүлж хаалтны гадаа гаргах шаардлагатай.
$4326.4 \pm 211 \approx (4.33 \pm 0.21) \cdot 10^3$ $4323.4 \pm 219 \approx (4.32 \pm 0.22) \cdot \ldots$	Алдаа 2 утгат оронтой. Иймд илүү орныг зэрэг хэлбэрт шилжүүлж хаалтны гадаа гаргав. Үүний дараа алдааны орон зууных болжээ.
$0.0004623 \pm 0.00017 \approx (4.6 \pm \ldots \ \ ) \cdot 10^{-4}$	

Хэрэв хүснэгтийн ба туршилтын тоон өгөгдөлд алдааг заан тэмдэглээгүй бол уг тооны сүүлчийн утгат орны цифрийг ±0.5 алдаатай гэж үзнэ.

Жишээ: $\pi = 3.14$ гэвэл $\pi = 3.140 \pm 0.005$; $g = 9.81$ м/с^2 гэвэл $g = (9.810 \pm 0.005)$ м/с^2 гэж ойлгоно.



Алдааны интервалаар илэрхийлэгдсэн тоонд үйлдэл хийх

Нэмэх ба хасах үйлдэл

Туршилтын үр дүнг боловсруулахад хоёр тооны хооронд нэмэх, хасах үйлдэл хийх шаардлага тулгардаг. Энэ үед үндсэн утгыг хэрхэн олох вэ, алдаа хэрхэн тооцоолох вэ гэдэг асуудал тавигддаг. Нэмэх хасах үйлдлийг нэг төрлийн хэмжигдэхүүнд хэрэглэдэг. Өөрөөр хэлбэл урт дээр уртыг нэмнэ, хугацаан дээр хугацааг нэмнэ. Хоёр тоог a, b гэж тэмдэглэе.

$$a = \overline{a} \pm \Delta a$$

$$b = \overline{b} \pm \Delta b$$

Нийлбэр (ялгавар) хэмжигдэхүүнийг c гэж тэмдэглэе.

$$c = \overline{c} \pm \Delta c$$

$\overline{c}$ ба Δc–ийг хэрхэн тооцоолох вэ?

Параметр	Нийлбэр $c=a+b$	Ялгавар $c=a-b$
Үндсэн (дундаж) утга	$\overline{c} = \overline{a} + \overline{b}$ Хоёр тооны нийлбэрийн үндсэн утга тоо тус бүрийн үндсэн утгуудын нийлбэртэй тэнцүү байна. Алдааны утгат оронд нийцүүлж үндсэн утгыг тоймлоно.	$\overline{c} = \overline{a} - \overline{b}$ Хоёр тооны ялгаврын үндсэн утга тоо тус бүрийн үндсэн утгуудын ялгавартай тэнцүү байна. Алдааны утгат оронд нийцүүлж үндсэн утгыг тоймлоно.
Абсолют алдаа	$\Delta c = \Delta a + \Delta b$ Хоёр тооны нийлбэрийн (ялгаврын) алдаа нь тоо тус бүрийн алдааны нийлбэртэй тэнцүү байна. Алдааны орныг алдааг тоймлох дүрмээр тоймлоно.	
Харьцангуй алдаа	Тооцоолж олсон абсолют алдаа ба үндсэн утгыг харьцуулж харьцангуй алдааг олно.	

Жишээ: $(22.4 \pm .5) + (14.76 \pm .25) = 37.16 \pm .75 = 37.2 \pm .8$

Нийлбэрийн алдаа 7-оор эхэлж байгаа учир 1 орноор тоймлов. Нийлбэрийн үндсэн утгыг уг алдаанд тохируулан мөн аравны орноор тоймложээ.

Дасгал Дараах үйлдлийг гүйцэтгэж, алдааны дүрмийг ашиглан үр дүнг тоймлоно уу.

	Тоймлохоос өмнө	Тоймлосны дараа
Жишээ: (22.2 ± .2) + (108.66 ± .05)	130.86 ± .25	130.86 ± .25
1. (44.8 ± .7) + (98.66 ± .05) =	______	______
2. (88.64 ± .12) + (53.8 ± 0.4) =	______	______
3. (245.871 ± .001) + (78.88 ± .05) =	______	______
4. (952.90 ± .29) – (458.34 ± .15) =	______	______
5. (3.8 ± .2) + (54.67 ± .05) – (72.126 ± .005) =	______	______
6. (528.11 ± .34) – (247.65 ± .02) =	______	______
7. (1468.23 ± .05) + (3.426 ± .001) =	______	______
8. (3.011 ± .001) – (4772 ± .0001) =	______	______

Үржүүлэх ба хуваах үйлдэл

Хоёр тооны хооронд үржүүлэх, хуваах үйлдэл хийх үед үндсэн утга ба алдааг тооцоолох аргатай танилцъя. Үржүүлэх ба хуваах үйлдлийг өөр төрлийн хэмжигдэхүүнд хэрэглэж болно.

$$a = \overline{a} \pm \Delta a$$

$$b = \overline{b} \pm \Delta b$$

a ба b хэмжигдэхүүний үржвэр (ноогдвор)-ийг c гэе.

$$c = \overline{c} \pm \Delta c$$

$\overline{c}$ ба Δc–ийг хэрхэн тооцоолох вэ?

1. Харьцангуй алдааны тусламжтай абсолют алдааг олох арга

Энэ аргыг хэрэглэх үед эхлээд үндсэн утга ба харьцангуй алдааг олно. Дараа нь абсолют алдааг олж тоймлоно.

Өгөгдлүүд	Үржвэр $c = a^m \cdot b^n$	Ноогдвор $c = a^m \div b^n$
Үндсэн (дундаж) утга	$\overline{c} = \overline{a}^m \cdot \overline{b}^n$ Хоёр тооны үржвэрийн үндсэн утга нь тоо тус бүрийн үндсэн утгуудын үржвэртэй тэнцүү байна. Алдааны утгат оронд нийцүүлж үндсэн утгыг тоймлоно.	$\overline{c} = \overline{a}^m \div \overline{b}^n$ Хоёр тооны харьцааны үндсэн утга нь тоо тус бүрийн үндсэн утгуудын харьцаатай тэнцүү байна. Алдааны утгат оронд нийцүүлж үндсэн утгыг тоймлоно.
Харьцангуй алдаа	$\varepsilon_c = \frac{\Delta c}{\overline{c}} = m\frac{\Delta a}{\overline{a}} + n\frac{\Delta b}{\overline{b}} = m \cdot \varepsilon_a + n \cdot \varepsilon_b$ Үржвэр (ноогдворын) харьцангуй алдаа нь хоёр тооны харьцангуй алдааг зэргээр нь үржүүлж нэмсэнтэй тэнцүү байна.	
Абсолют алдаа	$\Delta c = \varepsilon_c \Delta \overline{c}$ Үржвэр (ноогдворын) абсолют алдаа олохдоо харьцангуй алдааг дундаж утгаар үржүүлнэ.	

Жишээ: Харьцангуй алдааны тусламжтайгаар абсолют алдааг олох

Өгөгдлүүд	Үржүүлэх	Хуваах
	(20.4 ± .6) · (17.70 ± .25) $c = (\overline{a} \pm \Delta a) \cdot \left(\overline{b} \pm \Delta b\right)$	(20.4 ± .6) ÷ (17.70 ± .25) $c = (\overline{a} \pm \Delta a) \div \left(\overline{b} \pm \Delta b\right)$
Үндсэн утга Үндсэн утгуудад үйлдэл хийнэ.	20.4 · 17.70 =361.08 $\overline{c} = \overline{a} \cdot \overline{b} \quad m = n = 1$	20.4 ÷ 17.70 =1.153 $\overline{c} = \overline{a} \div \overline{b} \quad m = n = 1$
Тоо тус бүрийн харьцангуй алдаа Утгат орныг 3 юм уу 4 орноор авна.	$\varepsilon_a = \frac{\Delta a}{\overline{a}} = \frac{0.6}{20.4} = 0.0294; \quad \varepsilon_b = \frac{\Delta b}{\overline{b}} = \frac{0.25}{17.70} = 0.0141$	
Үржвэр ба ноогдворын харьцангуй алдаа	$\varepsilon_c = \frac{\Delta a}{\overline{a}} + \frac{\Delta b}{\overline{b}} = 0.0294 + 0.0141 = 0.0435$	
Үржвэр ба ноогдворын абсолют алдаа	$\Delta c = \varepsilon_c \Delta \overline{c}$ $\Delta c = 0.0435 \cdot 361.08 = 15.72$	$\Delta c = \varepsilon_c \Delta \overline{c}$ $\Delta c = 0.0435 \cdot 1.153 = 0.0502$
Тоймлоогүй бичлэг	361.08 ± 15.72	1.153 ± .0502
Тоймлосон бичлэг Алдааны дүрмээр тоймлоно. Үндсэн тооны утгат орныг харгалзахгүй.	360 ± 16 Алдаа 1-ээр эхэлж байгаа учир 2 орноор тоймлов.	1.15 ± .05 Алдаа 5-аар эхэлж байгаа учир 1 орноор тоймлов.

2. Үржвэр ба ноогдворын алдааг олох максимал хазайлтын арга

Энэ аргад эхлээд үндсэн утгыг олно. Дараа нь алдааны нэмэх ба хасах тэмдгийг ашиглан үндсэн утгаас аль болох их хазайсан тоог гаргаж авна. Үүнийг ашиглан абсолют алдааг олно.

Өгөгдлүүд	Үржүүлэх	Хуваах
	(20.4 ± .6) · (17.70 ± .25) $c = (\overline{a} \pm \Delta a) \cdot \left(\overline{b} \pm \Delta b\right)$	(20.4 ± .6) ÷ (17.70 ± .25) $c = (\overline{a} \pm \Delta a) \div \left(\overline{b} \pm \Delta b\right)$
Үндсэн утга Үндсэн утгуудад үйлдэл хийнэ.	20.4 · 17.70 =361.08 $\overline{c} = \overline{a} \cdot \overline{b}$	20.4 ÷ 17.70 =1.153 $\overline{c} = \overline{a} \div \overline{b}$
Максимал утга Үндсэн утгаас аль болох их хазайлгахыг хичээнэ.	21.0 · 17.95 = 376.95 $c_{max} = (\overline{a} + \Delta a) \cdot \left(\overline{b} + \Delta b\right)$ (± тэмдгийн + тэмдгийг авна)	21.0 ÷ 17.45 = 1.203 $c_{max} = (\overline{a} + \Delta a) \div \left(\overline{b} - \Delta b\right)$ (хүртвэрт + тэмдэг, хуваарьт – тэмдгийг авна)
Максимал хазайлт	376.95 – 361.08=15.87 $\Delta c_{max} = c_{max} - \overline{c}$	1.203 – 1.153=.050 $\Delta c_{max} = c_{max} - \overline{c}$
Тоймлоогүй бичиглэл (үндсэн утга ± зөрүү)	361.08 ± 15.87	1.153 ± .050
Тоймлосон бичиглэл Алдааны дүрмээр тоймлоно. Үндсэн тооны утгат орныг харгалзахгүй.	361 ± 16	1.15 ± .05

Дасгал Максимал хазайлтын аргыг ашиглан үр дүнг тоймлон олно уу.

Жишээ: (22.2 ± .2) · (108.66 ± .05)

үндсэн 2412.252
макс 2435.104
хазайлт: 22.852

	Тоймлоогүй	Тоймлосны дараа
	2412.252 ± 22.852	2412 ± 23
1. (44.8 ± .7) · (98.66 ± .05) =	____________	____________
2. (88.64 ± .02) ÷ (53.8 ± .7) =	____________	____________
3. (245.871 ± .001) · (78.88 ± .05) =	____________	____________
4. (952.90 ± .07) ÷ (458.340 ± .005) =	____________	____________
5. (3.8 ± .2) · (54.67 ± .05) · (.67 ± .04) =	____________	____________
6. (5.26 ± .07) · (11.68 ± .05) =	____________	____________
7. (10224.1 ± .5) ÷ (552.14 ± .05) =	____________	____________

Дасгал Баяр шингэний нягтыг тодорхойлохын тулд масс ба эзлэхүүнийг хэмжив. Массыг 0.1 г хуваарийн үнэтэй дэнсээр, эзлэхүүнийг 0.2 см^3 хуваарийн үнэтэй мензуркээр хэмжив.

$$m = 81.9 \text{ г}; \; V = 10.6 \text{ см}^3$$

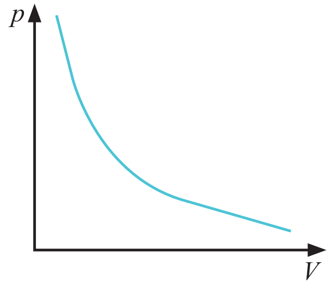
Шингэний нягтын утга ба алдааг олно уу.

Дасгал Баяр хатуу биеийн нягтыг тодорхойлохдоо масс ба эзлэхүүнийг тус тус 3 удаа хэмжив.

№	Масс m, г	Δm, г	Эзлэхүүн V, см^3	ΔV, см^3	Нягт ρ, г/см^3	$\Delta\rho$, г/см^3
1	2.745		2.4			
2	2.746		2.3			
3	2.744		2.6			
Дундаж утга						

Хүснэгтийн дутууг гүйцээнэ үү. Нягтын дундаж утга, абсолют алдаа ба харьцангуй алдааг хоёр аргаар олно уу.

Хэмжилтийн үр дүнг графикаар дүрслэх



Физик хэмжигдэхүүний хамаарлыг тоон ба чанарын хувьд илэрхийлэхэд график ба диаграммыг ашигладаг. Диаграмм гэж зураг, бүдүүвч, схем, тэмдэгт ашиглан харуулсан мэдээллийн дүрс юм. Баганан, дугуй, Венний, бүдүүвч, ухагдахууны сүлжээ, санкеи, X-У гэх мэт олон диаграммыг бид хэрэглэж ирсэн. График гэдэг нь хэмжигдэхүүний тоон хамаарлын дүр төрхийг үзүүлсэн диаграмм юм. Иймд бүх график диаграмм мөн, диаграмм бүхэн график биш. Иймд физикт хэрэглэж байгаа хоёр хэмжигдэхүүний хамаарал нь график бас диаграмм юм. Функцэн хамаарлыг аль ч нэрээр нэрлэхэд буруудах зүйлгүй.

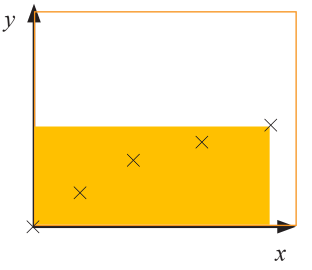
Чанарын графикийг сурах бичигт болон багшийн лекцийн үед өргөн ашигладаг. Чанарын графикт масштабын хуваарь байдаггүй, хуваарьгүй учир нэгж бичигдэхгүй, зөвхөн физик хэмжигдэхүүний нэр юм уу тэмдэглэгээг дүрсэлдэг. Жишээлбэл, зурагт идеал хийн изотерм муруйг дүрсэлсэн байна. Тоон график нь физик хэмжигдэхүүний хоорондын тоон утгын уялдааг ойлгомжтой дүрслэхэд чиглэдэг.

Туршилтын өгөгдлийн тоон график байгуулахад дараах дүрмийг баримтлах шаардлагатай. Үүнд:

1. Цаас сонгох. Графикийг зориулалтын хуваарьтай цаасан дээр гүйцэтгэнэ. Цаасны хэмжээ 15 см x 10 см–ээс багагүй байна. Цаасыг тоон өгөгдлийн цараанд (эхлэх, дуусах хязгаар) тааруулж авч болно. Эсвэл өгөгдсөн цаасанд тааруулж цараг тааруулах хэрэгтэй болдог.
2. Тэнхлэг сонгох. Ихэвчлэн диаграммын хэвтээ тэнхлэг дагуу үл хамааран хувьсагч (удирдан хувьсагч) – аргументыг, босоо тэнхлэг дагуу хамааран хувьсагч (дагалдан хувьсагч) – функцийг авдаг. Онцгой тохиолдолд тэнхлэгийн байрыг сольж болно.
3. Масштаб сонгох. Графикийг туршилтын үр дүнгийн хүснэгтэн мэдээлэлд үндэслэж байгуулдаг. Хүснэгтийн өгөгдлийн хамгийн бага, хамгийн их утга координатын тэнхлэгийн масштабыг тодорхойлдог.

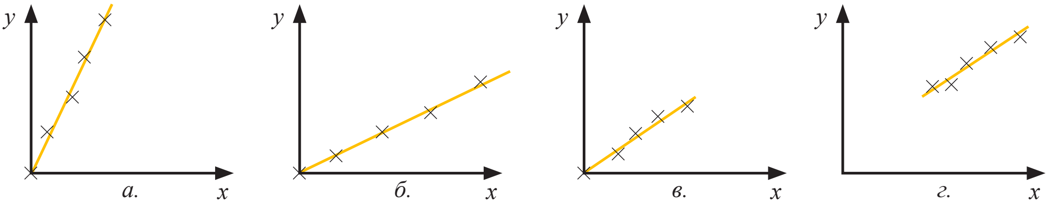
3.1 Масштаб шугаман ба шугаман биш (жишээлбэл, логарифм) байж болно. Хоёр тэнхлэгийн масштаб ижилхэн байх албагүй.

3.2 Масштабыг авахдаа цаасны талбайг аль болох дүүргэхүйц мужид графикийн цэгүүд дүрслэгдсэн байхаар тэнхлэгийн сонголт ба сунгалтыг төлөвлөнө. Цэгүүдийн хамрах талбай гэж хамгийн эхний ба эцсийн цэгийн координатаар үүсгэсэн тэгш өнцөгтийн талбайг ойлгоно (зураг үзнэ үү). Энэ хамрах талбайн хэмжээ цаасны талбайн 60% -аас багагүй хувийг эзэлсэн байх ёстой. Зурагт үзүүлсэн графикийн хувьд x тэнхлэгийн сунгалт хангалттай, харин y–тэнхлэгийн сунгалтыг ихэсгэх шаардлагатай харагдаж байна.



3.3 Хамаарлын муруй координатын эхийг дайрсан шулуунаар дүрслэгдэж байгаа бол налалтын өнцөг нь 30–60 завсарт, 45°–д ойрхон байвал зохистой гэж үзнэ.

Дасгал Зурагт үзүүлсэн графикуудын масштабын сонголт ба сунгалтын алдааг олно уу. Хэрхэн өөрчлөх шаардлагатай вэ?



3.4 Тэнхлэгийн хуваарь нь графикийн цэгийг тэмдэглэх, уншихад хялбар, нэмэлт тооцоо шаардахааргүй байх ёстой. Тэнхлэгийн хуваарьт арван зураас (нэг сантиметр) тутамд (нэг, хоёр, тав, арав, хорь, тавь гэх мэт) 1, 2, 5, 10, 20 … тоог нэгж болгож авбал тохиромжтой байдаг.

Хуваарийн нэгж	Харгалзах хуваарийн утгууд
1 (10, 100)	1, 2, 3, 4, 5, ... (10, 20, 30, 40, 50, …)
2 (20, 200)	2, 4, 6, 8, 10, ... (20, 40, 60, 80, 100, …)
5 (50, 500)	5, 10, 15, 20, 25, ... (50, 100, 150, 200, 250, …)

Сурагчид масштабыг дараах байдлаар буруу сонгох нь элбэг байдаг. Үүнд:

- Нэг сантиметрт 3 нэгжийг харгалзуулж, хуваарийг 3, 6, 9, 12, ... гэж авах,
- Нэг сантиметрт 4 нэгжийг харгалзуулж, хуваарийг 4, 8, 12, 16 гэж авах,
- Гурван сантиметрт 1 (10) нэгжийг харгалзуулж, хуваарийг 1, 2, 3, 4 (10, 20, 30, …) гэж авах гэх мэт.

3.5 Өгсөн тооны утгат орон, нарийвчлалыг алдагдуулахгүй байхыг хичээнэ.

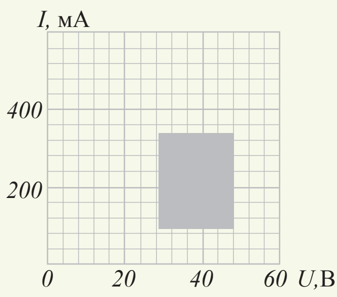
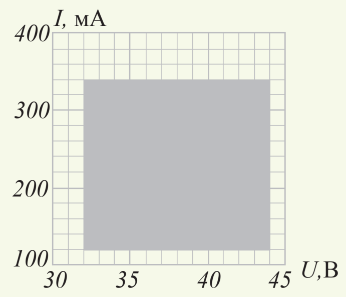
3.6 Координатын тэнхлэгийн эх заавал тэг байх албагүй байдаг. Дээрх шаардлагуудыг

биелүүлэх үүднээс координатын эх тэгээс ялгаатай тооноос эхлэх шаардлага тулгардаг. Хуваарийг сонгохдоо өгөгдсөн хэмжигдэхүүний *утгын талбар* (хамгийн их утга ба хамгийн бага утгын зөрөө, түүний нарийвчлал) ба цаасны *хуваарийн нийт тоог* зохицуулдаг. Дараах хүснэгтэд хүчдэл, гүйдлийн хүчний хамаарлын хүснэгтийн өгөгдлийн талбарыг тооцоолохыг үзүүлжээ.

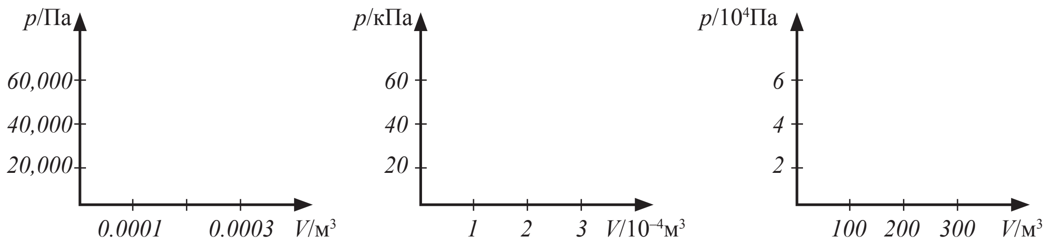
Тооны утга	Хүчдэл, В	Гүйдлийн хүч, мА
Тооны хамгийн бага утга	32.5	124
Завсрын утга	XX.X	YYY
Тооны хамгийн их утга	44.1	340
Өгөгдлийн утгын талбар (ойролцоогоор)	45.0-32.0=13.0	340-120=220

Диаграмм байгуулах миллиметрийн хуваарьтай цаасны хэмжээ 150 мм × 150 мм.

Тэнхлэг сонгосон жишээ үзье.

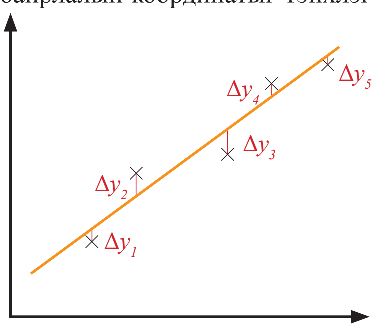
	Масштабын сонголт №1		Масштабын сонголт №2	
Координат	Хэвтээ	Босоо	Хэвтээ	Босоо
Эх	0 В	0 мА	30 В	0 мА
Төгсгөл	60 В	600 мА	45 В	400 мА
Масштаб	5 см-20 В буюу 1 см-4 В	5 см-200 мА буюу 1 см-40 мА	1 см-1 В буюу 1 мм-0.1 В	1 см-20 мА буюу 1 мм-2 мА
Хамрах талбай				
Дүгнэлт	Хэвтээ тэнхлэгийн эхийг тэгээс эхлүүлсний улмаас 15 см-45 В (1 см-3 В), эсвэл 15 см -60 В (1 см-4 В) масштаб авахаас өөр гарцгүй болжээ. Босоо тэнхлэгийн эхийг тэгээс эхлүүлсэн нь 15 см-450 мА (1 см-30 мА), эсвэл 15 см -600 мА (1 см-40 мА) масштаб авахаас өөр гарцгүй болжээ. Эдгээр нь тохиромжгүй масштабт хамаарах ба талбайн ашиглалт 1/8 орчим, тооны гурав дахь утгат орныг графикийн цаасанд дүрсэлж чадахгүйд хүрчээ.		Хүчдэлийн утгын талбар 13.0 В, цаасны өргөн 150 мм байгаа нь хэвтээ тэнхлэгийн эхийг 30 В-оос эхлүүлж 15.0 см-15.0 В (1 мм-0.1 В) харгалзуулах боломж гарчээ. Гүйдлийн хүчний утгын талбар 220 мА, цаасны өндөр 150 мм байгаа нь босоо тэнхлэгийн эхийг 100 мА-аас эхлүүлж, 15 см-300 мА (1 мм-2 мА) масштаб авах боломжтой ажээ. Энэ нь тооны сүүлийн орныг нэмэлт хүндрэлгүйгээр дүрслэх боломж олгож байна. Мөн талбайн ашиглалт 80% орчим болсон байна.	

4. Тэнхлэгийн тэмдэглэгээ. Координатын тэнхлэг дээр тоон хуваарь ба хэмжигдэхүүний нэр (эсвэл тэмдэглэгээ) ба нэгжийг бичнэ.
   4.1. Физик хэмжигдэхүүний тэмдэглэгээ (нэр) ба нэгжийг хуваарийн сүүлчийн тооны байранд бичнэ. Европын холбооны дүрмээр хэмжигдэхүүн ба нэгжийн хооронд хуваах тэмдэг тавина: p/кПа; V/см^3; υ/(м·с$^{-1}$). Оросын холбооны улсын жишгээр хэмжигдэхүүн ба нэгжийн хооронд таслал бичиж болно: p, кПа; V, см^3; υ,м/с. Мөн Японы жишгээр нэгжийг хаалтанд хийж болно: p(кПа); V(см^3); υ (м/с). Мөн үгээр дэлгэрэнгүй бичиж болно: Хурд (м/с нэгжээр), хугацаа (мин -аар) гэх мэт.
   4.2. Хуваарийн тоон утгыг графикийн талбайн гадна талд хэвтээгээр бичнэ.
   4.3. Хэт олон оронтой тоо бичигдэхэд хүрвэл масштабын коэффицент ашигладаг. Масштабын коэффицентийг нэгжийг үржүүлж бичнэ: $s/10^2$ м; $t/10^{-3}$ с; $f/10^{15}$ Гц. Үүнийг дараах байдлаар ойлгодог. $t/10^{-2}$с = 4.1 гэвэл эндээс $t = 4.1 \cdot 10^{-2}$с болно. Хэмжигдэхүүнийг үржүүлсэн байдлаар масштабын коэффицентийг бичвэл арвын зэргийг өмнөхийн эсрэг тэмдэгтэй бичнэ: $s \cdot 10^{-2}$/м; $t \cdot 10^3$/с; $f \cdot 10^{-15}$/Гц. Өмнөх жишээний хувьд $t \cdot 10^3$/с = 4.1 гэдгээс $t = 4.1 \cdot 10^{-3}$с болно.



а. б. в.

   4.4. Тэнхлэгийн хуваалтыг жигд хийж холбогдох тоон утгыг ижил зайтай бичнэ.
5. Цэг хатгах. Хүснэгтийн өгөгдлийн координатын хос утгыг ашиглан графикийн талбарт цэг хатгана. Цэгийг дугуй, хэрээс, од, гурвалжин зэрэг хэлбэртэй дүрсэлдэг. Цэгийн хэмжээ миллиметрийн хуваарийн шугамаас 2-3 дахин өргөн, дээгүүр нь шугам зурахад дарагдаж алга болохооргүй хэмжээтэй байна. Цэгийн байрлалын координатыг тэнхлэг дээр бичдэггүй.
6. Шугам зурах. Цэгүүдээр дүрслэгдэж буй хамаарлын зүй тогтлын ерөнхий хандлагыг харж хамгийн “сайн” дүрслэх шугам шулуун эсвэл муруйн аль нь болохыг шийднэ.

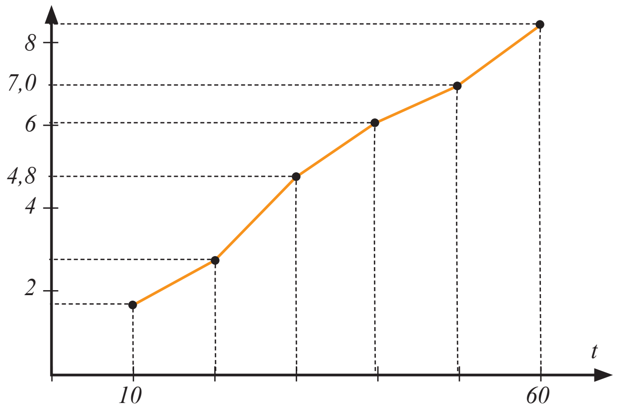


   6.1. Хамгийн “сайн” шугамыг арифметик дундаж байхаар төлөвлөж зурна.
   6.2. Муруйн дээд талд орших цэгийн тоо, доод талд орших цэгийн тоотой ойролцоогоор тэнцүү байна.
   6.3. Мөн цэгүүдээс муруй хүртэлх босоо зайн нийлбэр муруйн хоёр талд ойролцоогоор тэнцүү байна. Уг хазайлт хамгийн бага байлгахыг хичээнэ. Зурагт үзүүлсэн графикийн хувьд дараах тэнцэтгэл биелэхээр харагдаж байна.

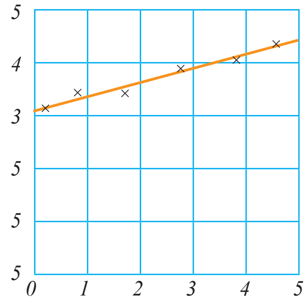
$$\Delta y_1 + \Delta y_3 + \Delta y_5 \approx \Delta y_2 + \Delta y_4$$

   6.4. Шугам нарийхан, тод байх ёстой. Зэргэлдээ цэгүүдийг холбож хөрөөний шүд хэлбэртэй шугам зурж болохгүй. Муруй нь гөлгөр байх ёстой.

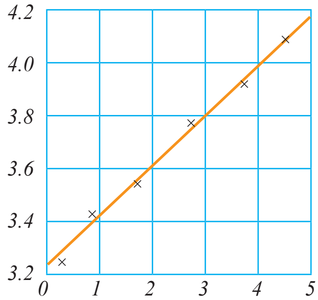
Дасгал Сурагч дараах график байгуулахдаа 10 өөр алдаа гаргажээ. Түүнийг олно уу.



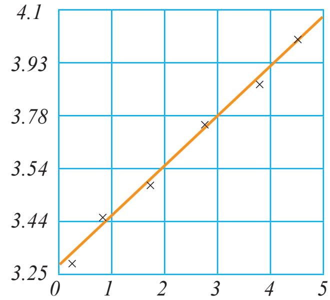
Дасгал Аль графикийн масштабын сонголт тохиромжтой вэ? Гаргасан алдаануудыг тоочно уу.



а.

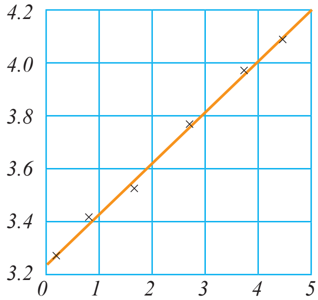


б.

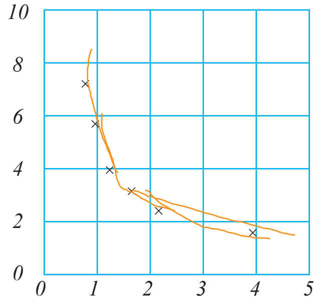


в.

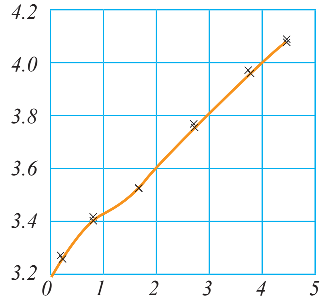
Дасгал Графикийн цэгийн холболтыг хийхэд гаргасан алдааг тоочно уу.



а.



б.



в.

7. “Сайн” шулуун. Муруйн хамгийн энгийн хэлбэр бол шулуун юм. ЕБС-ийн туршилт ажлаар ихэвчлэн шулуун хамаарлыг судалдаг. Хялбар тохиолдолд муруй хамаарлыг шулуун хамааралд шилжүүлж болдог. Энэ үйлдлийг шугаманчлах гэж нэрлэдэг.

   7.1 Шугаманчлах. Хамаарлын функц нь ил бол математик хувиргалтаар шугаман хамаарал болгох нь хялбар байдаг. ЕБС-ийн физикийн хөтөлбөрийн хууль зүй тогтлын 80 гаруй хувь нь зэрэгт функц хэлбэртэй байдаг. Жишээлбэл, Ньютоны

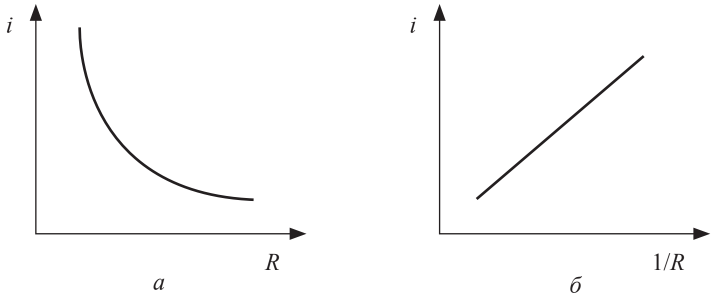
хууль, жигд хурдсах хөдөлгөөний хууль, Омын хууль, Фарадейн электролизийн хууль гэх мэт. Зэрэгт функцийг шугаман хамааралд хэрхэн оруулахыг жишээ болгон үзье.

Омын хууль ёсоор хүчдэл тогтмол үед гүйдлийн хүч эсэргүүцлээс урвуу пропорционал хамаарна.

$$i \sim \frac{1}{R};\ U = const$$

Хэрэв $i = f(R)$ хамаарлын функц авбал гипербол хамаарал гарна. Харин аргумент болгож $\frac{1}{R}$ –ийг авбал, $i = f(1/R)$ хамаарлын функц нь шулуун болох боломжтой.

Өөрөөр хэлбэл, гүйдлийн хүч эсэргүүцлээс урвуу пропорционал хамааралтай, харин гүйдлийн хүч эсэргүүцлийн урвуугаас шууд пропорционал хамааралтай.



Дасгал Биеийн хурдатгал массаас хамаарах хамаарлыг шугаман хэлбэрт оруулна уу.

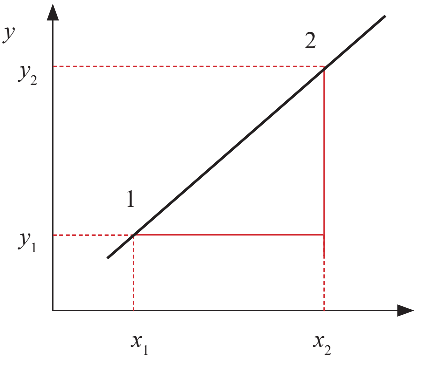
Ерөнхий тохиолдолд $y = ax^n$ (a нь тогтмол тоо) хэлбэртэй зэрэгт функцийг шугаман хэлбэрт оруулахын тулд аргумент болгож x–ийг биш, харин x^n–ийг сонгож авдаг.

Дасгал Анхны хурдгүй жигд хурдсах хөдөлгөөний зам-хугацааны хамаарлыг шугаман хэлбэрт оруулах арга сэднэ үү. Хамаарлын чанарын график байгуулна уу.

Дасгал Хугарлын хууль ёсоор тусгалын өнцөг α, хугарлын өнцөг β-тэй $\sin\alpha = n \cdot \sin\beta$ томьёогоор холбогддог. Хэрэв $y = \sin\alpha$; $x = \sin\beta$ гэж тэмдэглэвэл хамаарлын функц нь ямар болох вэ? $y = f(x)$ хамаарлын чанарын графикийг байгуулна уу.

7.2 Шулууны параметр. Шулууны тэгшитгэл ерөнхий тохиолдолд $y = kx + y_0$ хэлбэртэй байна. k коэффицентийг шулууны налалт (хуучнаар өнцгийн коэффицент) буюу градиент гэж нэрлэдэг. Налалтын утгаас хэвтээ тэнхлэгтэй шулууны үүсгэх өнцөг хамаардаг. y_0 коэффицент нь $x = 0$ цэгт харгалзах $y = y_0$ утга юм.

7.3 Шулууны градиентыг тодорхойлох. Шулууны графикаас налалтыг олохын тулд шулуун дээр координатыг нь тодорхой (алдаа багатай) олох боломжтой хоёр цэг сонгож авна: $1(x_1, y_1)$; $2(x_2, y_2)$. Тоймлолтын харьцангуй алдааг багасгахын тулд эдгээр цэгийг аль болох хол зайд авах хэрэгтэй. Энэ цэгт заавал хүснэгтийн цэг авах албагүй. Шулуун дээр орших координат нь илүү тодорхой хүснэгтийн цэг авах нь алдааг бууруулдаг. Шулуун координатын тэг O(0, 0) цэгийг дайрч байгаа бол 1–р цэг болгож



авах нь зохимжтой байдаг. Шулууны налалтыг эдгээр цэгийн координатаар дараах томьёогоор олно.

$$k = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

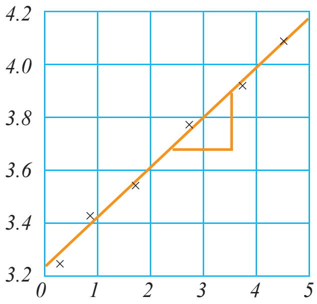
7.4 Максимум шулуун. Максимум ба минимум буюу боломжит тохирц муутай шулууныг байгуулж түүний градиентыг олсноор градиентын алдааг олох үндэс нээгддэг. Түүнийг 11 ба 12 –р ангид сонгон суралцах хичээлээр заах учир энэ удаа орхилоо.

7.5 Шууд хамаарал гэж x өсөхөд y өсөх зүй тогтлыг хэлнэ. Шууд пропорционал хамаарал гэж шууд хамаарал дээр пропорцын хамаарал нэмэгдэнэ: $y \sim x; y = kx; \frac{y_1}{y_2} = \frac{x_1}{x_2}$ буюу x–ийг хоёр дахин ихэсгэхэд y хоёр дахин нэмэгдэж байвал шууд пропорционал хамаарал болно. Ийм график заавал координатын эхийг дайрсан байх ёстой.

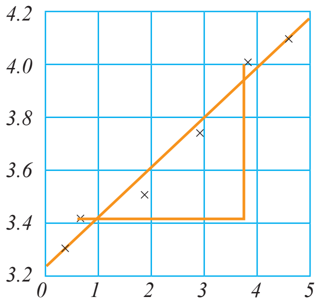
Урвуу хамаарал гэж x өсөхөд y буурах зүй тогтол юм. Урвуу пропорционал хамаарал гэж урвуу хамаарал дээр пропорцын хамаарал нэмэгдэнэ: $y \sim 1/x; y = \frac{a}{x}; \frac{y_1}{y_2} = \frac{x_2}{x_1}$ буюу x–ийг хоёр дахин ихэсгэхэд y хоёр дахин буурч байвал урвуу пропорционал хамаарал болно.

7.6 Градиентын тооцоо. Градиент тодорхойлох гурвалжинг байгуулна. Түүнийг алдаа багатай тодорхой цэгийг дайруулж байгуулна. Гурвалжин боломжийн хэмжээгээр том байвал цэгийн координат олоход үүсэх алдаа бага гардаг.

Дасгал Алдааг ол.



а.



б.

Градиентыг тооцоолохдоо авсан цэгүүдийн координатыг дэлгэрэнгүй бичвэл зохилтой.

7.7 Оу тэнхлэгийг огтлох цэг. $x = 0$ цэгийн утганд харгалзах функцийн утгыг босоо тэнхлэг огтлох цэг гэж нэрлэдэг. Градиентын утга тодорхой болсон бол $y = kx + c$ тэгшитгэлээс (x,y) тодорхой цэгт харгалзах c-ийн утгыг тооцоолж олно.

БҮЛЭГ 6. БОДЛОГО

МЕХАНИК

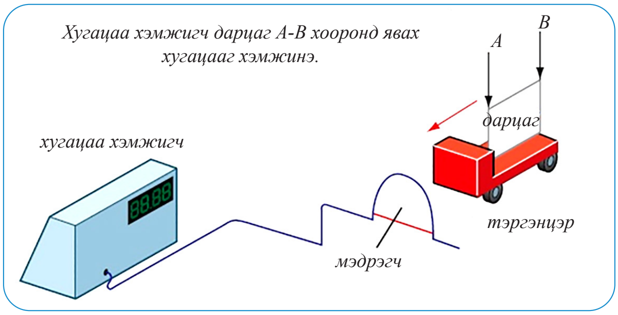
1. Уртын нэгжүүд өгөгджээ. Гэрлийн жил, миль, одон орны нэгж, ангестрем, нанометр, инч, фут, ярд, алд.
   - Эдгээр нэгжүүдийг багаас нь ихсэх дарааллаар жагсаана уу.
   - Тэдгээрийг метр нэгжээр илэрхийлнэ үү.
   - Уг нэгжийг хэрэглэхэд тохиромжтой жишээ хэлнэ үү.
2. Массыг хэмжих СИ системийн ямар нэгжүүд мэдэх вэ? Массыг хэмжих СИ системийн бус ямар нэгж мэдэх вэ?
3. СИ системийн үндсэн 7 нэгжийг нэрлэнэ үү. Тэдгээрийн талаар дэлгэрэнгүй мэдээлэл олж илтгэл бэлтгэж танилцуулна уу.
4. СИ системийн үндсэн нэгжийг ашиглан үржүүлэх, хуваах аргаар уламжлалт нэгжийг гаргадаг. Жишээ болгон хүч ба цахилгаан хүчдэлийн нэгжийг гаргаж үзүүлнэ үү.
5. Материйн шинж чанар, байгалийн түгээмэл хуулийг илэрхийлэхэд оролцдог 20 орчим түгээмэл тогтмол байдаг. Дараах хүснэгтэд физикийн зарим түгээмэл тогтмолуудыг үзүүлжээ.
   - A. Хэмжигдэхүүний утгат орныг олно уу.
   - B. Хэмжигдэхүүнийг өгөгдсөн утгат цифр хүртэл тоймло.
   - C. Энэ үед гарах харьцангуй алдааг тус тус үнэл.

		1 утгат орон	2 утгат орон	3 утгат орон	4 утгат орон
Цахилгаан тогтмол	$8.85418782 \cdot 10^{-12}$ Фм$^{-1}$	$9 \cdot 10^{-12}$ Фм$^{-1}$	$8.9 \cdot 10^{-12}$ Фм$^{-1}$	$8.85 \cdot 10^{-12}$ Фм$^{-1}$	$8.854 \cdot 10^{-12}$ Фм$^{-1}$
Вакуум дахь гэрлийн хурд	299792458 мс$^{-1}$				
Эгэл цэнэг	$1.6021892 \cdot 10^{-19}$ Кл				
Электроны тайвны масс	$9.109534 \cdot 10^{-31}$ кг				
Авогадрогийн тоо	$6.0220943 \cdot 10^{26}$ кмоль$^{-1}$				
Массын атом нэгж	$1.6605655 \cdot 10^{-27}$ кг				
Гравитацийн тогтмол	$6.6720 \cdot 10^{-11}$ Нм^2/кг^2				

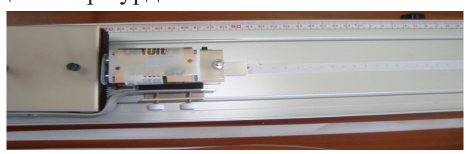
6. Нарнаас Алтан гадас од хүртэлх зайг хэмжихэд уртын ямар нэгж тохиромжтой вэ?

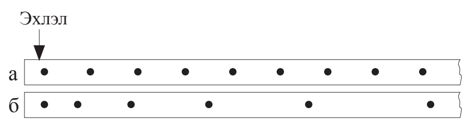
Хурд ба хурдатгал

1. Хурдны м/с, мм/с, км/с, км/ц, mph (1 цагт харгалзах миль, 1 миль нь 1.6 км) нэгжүүд өгөгджээ. Дараах тохиолдлуудын хурдыг хэмжихэд аль нэгж тохиромжтой вэ?
   а. Яст мэлхий   б. Холын замд явж буй автомашин
   в. Гэрэл   г. Ойрын зайн гүйгч   д. Нисэх онгоц
2. Хөдөлж байгаа биеийн байрлал болон хугацааны агшныг бүртгэх ямар аргууд байж болох вэ?
3. *Гэрэл мэдрэгчтэй төхөөрөмж.* Зурагт үзүүлснээр тэргэнцэр хөдөлнө. Гэрэл мэдрэгчийн завсраар тэргэнцэр орох үед дарцаг гэрлийн цацрагийг хаах ба энэ үед хугацаа хэмжигч ажиллаж эхлэнэ. Дарцаг гэрэл мэдрэгчийн завсраас гарахад хугацаа хэмжигч зогсоно. Ингэж гэрэл мэдрэгч гэрлийн хаалттай байх хугацааг хэмжинэ. Дарцагны урт 5 см. Хугацаа хэмжигч 0.40 с хугацааг бүртгэсэн бол тэргэнцрийн хурдыг ол. Энэ хурдыг ямар хурд гэх вэ?



4. *Товшуурт төхөөрөмж.* Хөдөлгөөн бүртгэгч товшуурт төхөөрөмжийг зурагт үзүүлжээ. Товшуур цаасан туузан дээр тодорхой хугацааны завсартайгаар товшиж бэхээр тэмдэг тавина. 2-р зурагт тэргэнцрийн хөдөлгөөнийг тэмдэглэсэн a ба b туузууд өгөгджээ. Тэргэнцрийн хөдөлгөөний талаар юу хэлж чадах вэ?





5. *Радар.* Судлаачид далайн усны гүнийг хэмжихдээ усны ёроол руу дууны богино дохио явуулж ёроолоос ойсон дууг бүртгэн зарцуулсан хугацааг хэмжих аргаар тодорхойлдог. 0.40 с хугацаанд дууны дохио бүртгэгдсэн бол усны гүн хэдэн метр вэ? Далайн усанд дуу тархах хурд 1500 м/с.
6. Дэлхий нэг жилийн хугацаанд нарыг нэг бүтэн тойрдог. Дэлхийгээс нар хүрэх зай $1.5 \cdot 10^{11}$м.
   а. Дэлхийн дундаж шугаман хурдыг ол.
   б. Энэ хурдыг яагаад дундаж хурд гэж нэрлэж байна вэ?
7. Дундаж гэсэн ойлголтыг амьдралд өргөн хэрэглэдэг. Дундаж наслалт, дундаж жин, дундаж өндөр, дундаж цалин гэх мэт. Дунджийн тухай ойлголт хэрэглэх нь ямар ашигтай вэ? Дундаж хурдны физик утгыг өөрийн үгээр илэрхийлнэ үү.
8. Хоромхон хурд ба дундаж хурд ямар ялгаатай вэ?
9. Ямар нөхцөлд дундаж вектор хурдны хэмжээ дундаж шугаман хурдтай тэнцүү байх вэ?
10. Дараах хүснэгтэд шулуун явж буй машины шилжилт–хугацааны хамаарал өгөгджээ.

Шилжилт/м	0	85	170	255	340
Хугацаа/с	0	1.0	2.0	3.0	4.0

   а. Өгөгдлийг ашиглан машины хурдыг тодорхойл.
   б. Өгөгдлийг ашиглан машины шилжилт хугацааны график зурж, графикийг ашиглан хурдыг олоорой.

11. Дараах хүснэгтэд шулуун явж буй машины хурд – хугацааны хамаарал өгөгджээ.

Хурд, м/с	2.0	4.0	6.0	8.0	10.	12
Хугацаа, с	0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0

а. Өгөгдлийг ашиглан машины хурд хугацааны график зур.
б. Графикийг ашиглан хурдатгалыг ол.

12. h= 50 м өндөр хавцал дээрээс чулууг хэвтээ чигт $\upsilon_0=18$ м/с хурдтай шидэв.
а. Чулуу газарт буух хугацааг минутаар илэрхийл.
б. Чулуу хавцлын ёроолоос ямар зайд унах вэ?
в. Чулуу газарт буух хурдыг ол.

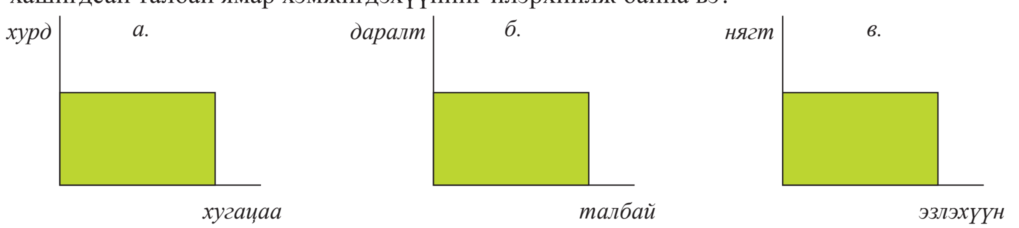
13. Уралдааны машин тойргоор 120 км/ц тогтмол хурдтайгаар хөдөлнө.
а. Хэрэв машин 2 минут хугацаанд нэг тойрч байсан бол замын урт 4 км гэж батал.
б. Машин 1 минут хугацаанд хийх шилжилтийг ол.

14. Хөдөө орон нутгийн замаар машин явж байна гэж бодъё. Машины нийт туулсан зам, тухайн агшны хурд, хурдатгал өөрчлөгдөмтгий чанараараа ямар ялгаатай вэ?

15. Шинжлэх ухаанд жигд гэдэг ойлголтыг өөрчлөгдөхгүй, ижилхэн, тогтмол гэсэн утгаар хэрэглэдэг. Жигд хөдөлгөөн, жигд хурдсах хөдөлгөөн гэдэгт ямар хэмжигдэхүүн тогтмол байх вэ?

16. Бодит амьдралд “жинхэнэ” жигд хөдөлгөөн гэж байхгүй, энэ бол загварчилсан хийсвэр ойлголт гэдэг. Яагаад физикт бодит амьдралд байхгүй зүйлийг яриад байгаа юм бэ?

17. Урт ба өндрийн үржвэр математикт талбайн утгатай байдаг. Физикт хоёр хэмжигдэхүүнийг үржүүлж шинэ хэмжигдэхүүн гаргадаг. Жишээлбэл, хурдатгалыг хугацаагаар үржүүлбэл биеийн хурдны өөрчлөлт гарна. Хоёр хэмжигдэхүүний үржвэрийг диаграммаар дүрсэлбэл муруйн доор хашигдсан талбай нь үржвэр хэмжигдэхүүний утгатай байна. Дараах диаграммуудад дүрслэгдсэн муруйн доор хашигдсан талбай ямар хэмжигдэхүүнийг илэрхийлж байна вэ?



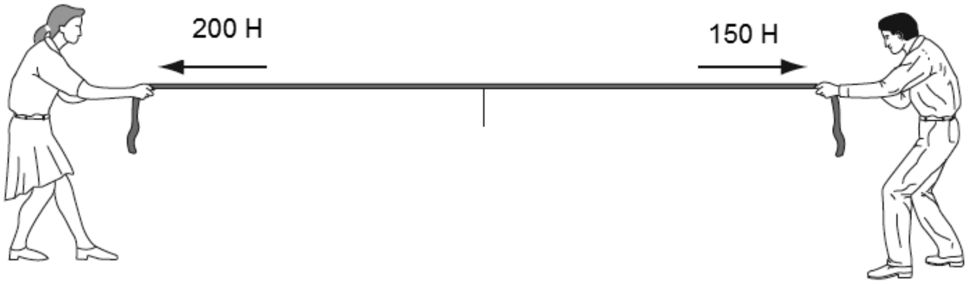
18. Физикт хоёр хэмжигдэхүүнийг харьцуулж шинэ хэмжигдэхүүн гаргаж болдог. Ийм хэмжигдэхүүнийг харьцаагаар илэрхийлэгдэх хэмжигдэхүүн гэдэг. Жишээлбэл, биеийн массыг эзлэхүүнд харьцуулбал биеийн нягт гарна. Ийм аргаар тодорхойлогдох ямар ямар хэмжигдэхүүн мэдэх вэ?

19. Туузны массыг уртад, хивсний массыг талбайд нь харьцуулбал ямар утгатай физик хэмжигдэхүүн гарах вэ? Ийм хэмжигдэхүүнийг амьдралд ашиглаж буй жишээ гаргана уу.

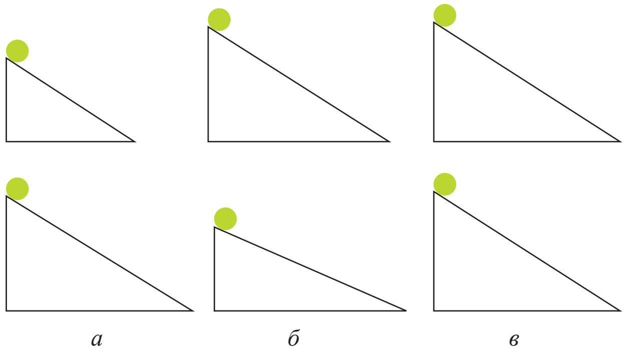
20. Зурагт үзүүлсэн 2016 оны уралдааны Хеннессеи Спайдер 2.5 с хугацаанд 0-100 км/ц хурд олж авдаг. Машины хурдатгалыг ол. Энэ машин хөдөлж эхэлснээс хойш 100 м замыг ямар хугацаанд туулах вэ? Энэ үед ямар хурдтай болсон байх вэ?

Хүч ба хөдөлгөөн

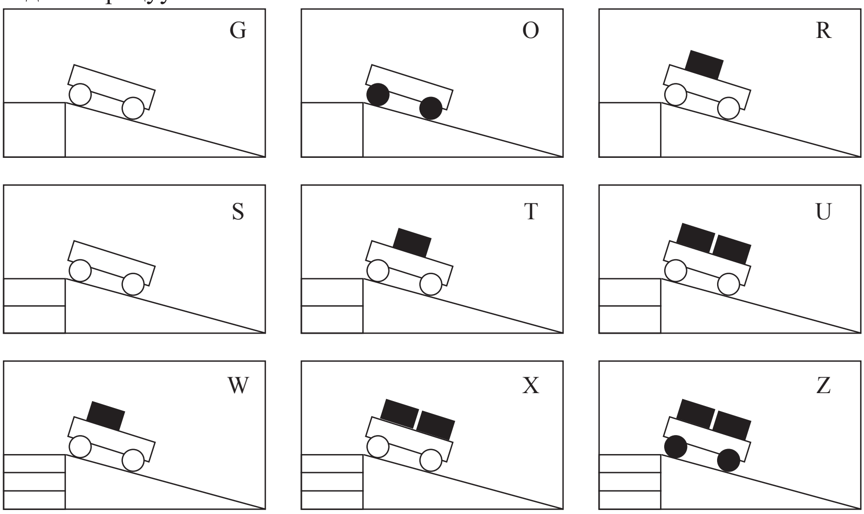
1. Угаалгын машины хатаагуур ямар зарчимд үндэслэдэг вэ?
2. Автобус гэнэт тоормозлоход хүмүүс яагаад урагшаа унах гээд байдаг вэ?
3. Хивсний тоосыг саваагаар гөвж арилгадаг. Энэ нь физикийн ямар үзэгдэлтэй холбоотой вэ?
4. Унадаг дугуйгаар явж байх үед бариулаа тавиад явж болдог. Харин зогсож байх үед ингэх боломжгүй байдаг. Энэ ямар учиртай юм бол?
5. Ширээн дээрх аягатай усыг өргөж холдуулахгүйгээр ширээний бүтээлгийг нь сугалж авахын тулд яах хэрэгтэй вэ?
6. "Бүсгүй, залуу хоёр олсоор таталцаж байна. Бүсгүй 200 Н хүчээр, залуу 150 Н хүчээр татаж байв. Нийлбэр хүчний хэмжээ ба чиглэлийг олно уу". Энэ бодлогын тавилд байгаа алдааг хоёр биеийн харилцан үйлчлэлийн Ньютоны 3-р хуулийг ашиглан олно уу. Бодит байдалд илүү их хүчээр үйлчилсэн нь ялах ёстой шүү дээ. Энэ зөрчлийн талаар юу хэлж чадах вэ?



7. Шороон замаар явж байгаа машин хурдлах тутам улам их тоос дэгдэж байгаа ажиглагддаг. Яагаад тоосны хэмжээ машины хурдаас хамаараад байна вэ?
8. Машины хөдөлгүүрийн ажиллагааны хэмнэл нэгэн жигд байх үед машины хурд эхлээд огцом нэмэгдэж байснаа цаашид нэмэгдэх хэмжээ нь багассаар хурд тогтворждог. Машины хурд–хугацааны хамаарлын графикийг тоймлож зурна уу.
9. *Шүхэр хийцгээе.* Янз бүрийн материал ашиглан өөрсдөө төлөвлөн агаарт аль болох удаан тогтох шүхэр хийцгээнэ үү. Юу бодож хийснээ тайлбарлаарай. Өндөр газраас унагаж туршиж үзээрэй. Сайжруулах зүйл юу байна?
10. *Цул ба хөндий бөмбөлөг.* Танд хоёр бөмбөлөг байна. Түүний нэг нь цул, нөгөө нь дотроо хоосон. Үүнийг урьдчилан мэдэх аргагүй. Доорх гурван туршилтын алийг хийвэл хоёр бөмбөлгийг ялгаж чадах вэ?



11. *Ачаатай тэргэнцэр.* Баяр ялгаатай масстай дугуйтай тэргэнцэр ашиглан туршилт хийснийг зурагт үзүүлэв. Тэргэнцрийг янз бүрийн өндрөөс доош өнхрүүлэв. Тайрдсуудын масс ижил. Тэргэнцрийн ачааг нэмэх тутам тэрэгний газарт буух үеийн хурд нэмэгдэнэ гэсэн таамаглалыг шалгахыг хичээсэн. Ямар гурван туршилтыг хооронд нь харьцуулж болох вэ?



A. G, T ба X; B. O, T ба Z; C. R, U ба Z; D. S, T ба U E. S,W ба X

12. *Пүршний хат.* Пүршийг сунгах хүч пүршний суналттай Гукийн хуулиар $F = kx$ илэрхийлэгддэгийг бид мэднэ. Пүршний хат k нь пүршний урт, ороодсын тоо, талбай, материалын Юнгийн модуль зэрэг олон параметрээс хамаардаг коэффицент юм. Пүрш бүрийн хувьд тодорхой утгатай байдаг.

    Пүршний бусад параметрийг өөрчлөхгүйгээр зөвхөн пүршний уртыг нэмэгдүүлбэл хат хэрхэн өөрчлөгдөх бол? Энэ хамаарлыг тогтоох туршилтын төлөвлөгөө боловсруулна уу.

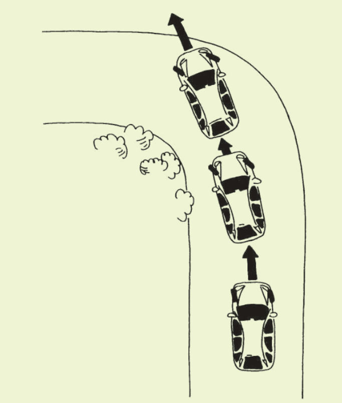
13. Хувцасны товчийг олон дахин бөхөлж оёдог. Энэ нь физикийн үүднээс юу гэсэн үг вэ?
14. Цахилгаан товчийг юунд үндэслэж хийсэн бэ?

Үрэлтийн хүч

1. *Саад ба автомашин.* υ =30 м/с хурдтай автомашины жолооч 100 м зайд байгаа саадыг хараад тоормозлож эхлэв. Саадыг харснаас хойш тоормоз барьж эхлэх хүртэл 0.3 с хугацаа өнгөрнө. Жолооч саадыг мөргөхөөс нь өмнө машинаа зогсоож чадах уу? Зогсох зайг машины дугуй болон цардмал зам хоорондын үрэлтийн коэффицентийн дараах гурван тохиолдолд тооцоолно уу.
   - Хуурай замд μ=0.6
   - Нойтон замд μ=0.4
   - Цастай замд μ=0.2
2. *Үрэлтийн хүчний чиг.* Дараах тохиолдлуудад машины хөдөлгүүртэй холбоотой зүтгэх дугуйд замаас үйлчлэх үрэлтийн хүч хаашаа чиглэх вэ?
   - Машин хурдсан хөдөлж эхлэх үед
   - Машин хөдөлгүүрээ салган хэвтээ чиглэлд эрчээрээ явж байх үед
   - Машин тоормозлож хурдаа сааруулах үед

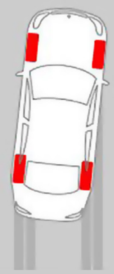
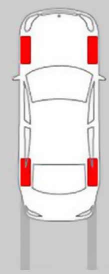
3. *Бөглөө.* Лонхноос үйсэн бөглөө сугалж авахын тулд холхиулж эргүүлэнгээ татдаг. Үүний учир юу вэ?
4. Дугуйтай хүүхэд засмал замаар явж байна. Дараах тохиолдлуудад хойд ба урд дугуйны резинд замаас үйлчлэх үрэлтийн хүчийг дүрсэлнэ үү.
   - Хөдөлж эхлэх үед
   - Жигд хурдаар явах үед
   - Тоормозлох үед
   - Тойруу замаар эргэх үед
5. *Замын тойруу ба үрэлтийн хүч.* Машиныг замтай барьцалдуулж байгаа гол хүч бол үрэлтийн хүч байдаг. Дугуйд үүсэх үрэлтийн хүчний чиглэл ба хэмжээнээс машины хөдөлгөөний шинж хамаарна. Машин жолоодох нь амьдралын туршлагаас гадна физикийн мэдлэг шаарддаг.
   Жолооч нэлээд их хурдтай явж байгаад зам огцом тахийна гэсэн тэмдэг олж харав. Жолооч аюулгүй ажиллагааны үүднээс ямар арга хэмжээ авах ёстой вэ?
   а. Тахир хэсгээр явж байх үедээ тоормозоо гишгэж хурдаа байнга хасаж явна.
   б. Тахир хэсэгт орохоос өмнө хурдаа хангалттай хэмжээгээр хасаж, тахир хэсэгт тоормозлохгүй, хурдаа нэмэхгүйгээр эргүүлнэ.
   в. Хурдаа хасахгүйгээр жолоогоо сайн залуурдаж эргэнэ.
   г. Урд дугуйг кардаантай холбож, хойд дугуйг хүчтэй эргүүлж гулсалт үүсгэн дрифт хөдөлгөөн хийлгэх замаар машины явах чигийг эргүүлнэ.
6. *Шарвалт.* Халтиргаатай замд машины дугуй замтай барьцалдах хүч хөдөлгөөнийг тогтоон барьж чадахгүй үед гулсалт үүсдэг. Үүнийг шарвах гэдэг. Урд ба хойд дугуй шарваж болдог. Энэ үед машины эх бие тэнхлэгээ тойрч эргэж эхэлнэ. Шарвалт нь замын халтиргаа, тэгш биш байдал, саад, хурд тохироогүй, хөндлөн хүчний цохилт, налуу гэх мэт олон шалтгаанаар үүсэж болно.
   Жолооч замын огцом эргэлт дээр нэлээд их хурдтай иржээ. Тэрээр жолооны хүрдээ замын чигт эргүүлж, хурдаа хасахыг оролдсон ч машин түүнд удирдуулалгүй явсаар замаас гарч осолд орж байна. Энэ үед тоормослож хурдаа хасахыг хичээвэл байдал улам дордож машин онхолдох аюулд хүрдэг гэж туршлагатай жолооч нар ярьдаг.

Зургаас харахад жолооч машины урд дугуйг эргэлтийн чигт эргүүлжээ. *Гэвч зам халтиргаатай учраас машин жолооны хүрдээр удирдагдахгүй замын хажуу руу шарван гарч байна.*

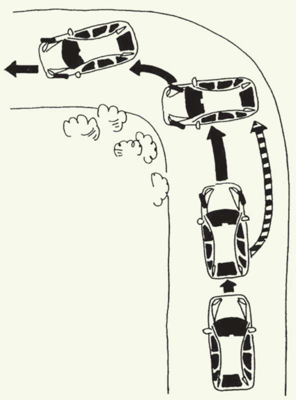
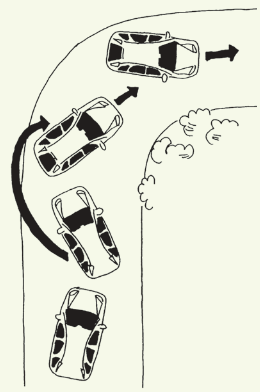


Мэдээж эргэлт рүү орохдоо хурдаа тохируулах ёстой. Хэчнээн анхаарал болгоомжтой явсан ч янз бүрийн шалтгаанаар шарвалттай ихэнх жолооч учирдаг. Шарвалтын үед хийсэн жолоодлогын алдаа нь нөхөж баршгүй хохирол учруулж болзошгүй юм. Тэгвэл шарвах үед яах ёстой вэ гэдгийг авч үзье.

Машины урд дугуй эсвэл хойд дугуй хөдөлгүүртэй холбоотой байдаг. Урд хойд дугуй нь хөдөлгүүртэй холбоотой машинууд ч бий. Хөдөлгүүртэй холбоотой дугуйг зүтгэх дугуй гэдэг. Шарвалтын үед урд, хойд дугуйгаар зүтгэдэг машины баримтлах дэглэм ялгаатай байдаг.

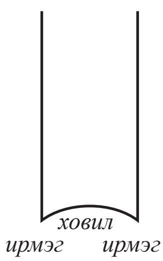
Машин чигээрээ явж байх үед л тоормосло.	Эргэлтийн үед хөдөлгөөний хурдыг жигд барь.	Шарваж байх үед тоормослож огт болохгүй.	
Шарвалтын үед юу хийх ёстой вэ?			
1 	2	3	4 
Халтиргаатай замд баруун, зүүн аль ч чиглэлд шарвалт үүсэж болох юм.	Шарваж байгаа тал руу жолооны хүрдийг зөөлөн эргүүлнэ. Үүнтэй нэгэн зэрэг: хойд дугуйгаар зүтгэдэг машины хувьд түлшний гишгүүрийг чөлөөлнө. Урд дугуйгаар зүтгэдэг машины хувьд түлшний гаралтыг бага зэрэг нэмж зүтгэх хүч үүсгэнэ.	Машин шарвалтаас гарах агшинд жолооны хүрдийг буцааж шулуун байрлалд оруулж барина. Үүнийг цаг алдаж хийвэл машин аль хэдийн хажуугийн эгнээнд орсон байна.	Жолоодлогыг цаг алдалгүй зөв гүйцэтгэсэн бол машин анхны чиглэлд орно. Хөдөлгөөнийг цааш хэвийн үргэлжлүүлж болно.

Шарвалтыг зохиомлоор үүсгэж, удирдан уран жолоодлого хийдэг.

Машиныг зохиомлоор шарвуулж, машины эх биеийг хөндлөн гулсалтад оруулж бага зайд эргэлт хийж болно.	Хурдаа сааруулахгүйгээр огцом эргэхийн тулд эргэлтийн эсрэг богино хөдөлгөөн хийж давхар шилжилт хийх аргыг нисэгчид ашиглах нь бий.
	

Шарвалтаас гарах алхмуудыг жагсаан бичиж, шалтгааныг физикийн үүднээс үндэслэнэ үү.

7. *ABS төхөөрөмж.* Халтиргаатай замд машины дугуйны тоормозын барьцалдааг нэмэгдүүлэх зорилгоор ABS (Automat break system) ашигладаг. Энэ нь дугуйг барьж тавих замаар доргилт үүсэж, гулсалтын үрэлтийг тайвны үрэлт рүү хувиргахад чиглэсэн үйл юм. Үүний шалтгаан юу вэ?
8. Хүн мөсөн дээгүүр явахдаа халтирахгүйн тулд ойр ойрхон гишгэж байгаа харагддаг. Үүний физик үндэс юу вэ?
9. *Морин хуур.* Морин хуур хөгжмийн чавхдасыг хуурай давирхайгаар үрж дугаралтыг нь нэмэгдүүлдэг. Үүний физик үндэс юу вэ?
10. *Тэшүүр.* Мөсөн дээгүүр тэшүүрээр гулсах үед мөр гардаг. Тэшүүрийн ир нь 3-4 мм орчим өргөнтэй, нумарсан ховилтой байдаг. Яагаад ингэж хийдэг юм бол?



11. Дараах хөдөлгөөний үед үрэлтийн ямар төрлүүд илрэх вэ?
    - Хүн уул өөд өгсөх үед,
    - Цанаар гулгах үед,
    - Тэшүүрээр гулгах үед,
    - Шаварт суусан машин зүтгэх үед,
    - Машин хөдөлж эхлэх үед

12. *Тайвны ба гулсахын үрэлт.* Тайвны үрэлтийн коэффицент гэж бие тайван байдлаас гарах үеийн үрэлтийн хүч ба реакцийн хүчний харьцааг ойлгодог. Харин гулсахын үрэлтийн коэффицент гэж бие хэвтээ гадаргаар жигд гулсах үеийн үрэлтийн хүч ба реакцийн хүчний харьцааг хэлнэ. Сурагчид урт модон самбар, модон тайрдас, хүч хэмжигч ашиглан модон ачаа ба самбарын хоорондох тайвны болон гулсахын үрэлтийн коэффицентийг тодорхойлох туршилт хийв.
   а. Туршилтын зураглал, төлөвлөгөө гаргана уу.
   б. Сурагчид 6 багаар ажиллаж тайвны ба гулсахын үрэлтийн коэффицентүүд тэнцүү эсэхийг шалгасан туршилтын үр дүнгээ танилцуулжээ. Дараах хүснэгтэд баг бүрийн туршилтын үр дүн, багуудын үр дүнгийн дундаж утгыг үзүүлжээ.

Багийн дугаар	Гулсахын үрэлтийн коэффицент	Тайвны үрэлтийн коэффицент
1	0.44	0.55
2	0.46	0.52
3	0.42	0.56
4	0.44	0.54
5	0.74	0.23
6	0.44	0.54
дундаж	**0.49**	**0.49**

   Сурагчдын хийсэн туршилтын үр дүнд үндэслэн тайвны ба гулсахын үрэлтийн коэффицент тэнцүү эсэх талаар юу хэлж чадах вэ? Таны бодлоор тайвны ба гулсахын үрэлтийн коэффицентийн дундаж утга ямар гарч байна вэ?
13. *Хуруун дээрх савааны хөдөлгөөн.* Хоёр гарынхаа долоовор хурууг тэнийлгэн дээр нь урт шулуун савааг (50-100 см–ийн шугам байж болно) тавина. Ингэхдээ хоёр хуруугаа аль болох их зайд байрлуулах хэрэгтэй. Тэгээд хоёр хуруугаа хооронд нь ойртуулах чигт аажим хөдөлгөнө. Таны хоёр хуруу ээлжлэн гулссаар савааны хүндийн төвд уулзахыг ажиглаж болно. Туршилтыг хийж үзээд шалтгааныг тайлбарлана уу.
14. *Дэлхийн татах хүчийг эсэргүүцэх нь.* Аливаа бие дэлхийд татагдан унадаг. Тэгвэл уналтыг удаашруулахын тулд яах ёстой вэ? Биеийг аажим унагахын тулд агаарын эсэргүүцлийн хүчийг ашиглаж болох юм. Сурагчид агаарын эсэргүүцлийн хүч юунаас хамаарах талаар дараах санаанууд гаргажээ. Үүнд:
   - Биеийн эзлэхүүн
   - Биеийн агаарыг сөрөх талбай
   - Биеийн гадаргын талбай
   - Биеийн хэлбэр
   - Биеийн унах хурд
   - Биеийн нягт

Агаарын эсэргүүцлийн хүч эдгээр параметрийн алинаас нь хэрхэн хамаарах талаар таамаглал дэвшүүлж, дэвшүүлсэн таамаглалаа үндэслэнэ үү.

15. *Машин хоорондын зай.* Жолооч нарт тээврийн хэрэгсэл жолоодож явах үедээ хурд ихтэй байх тутам өмнөх машинаас улам их зай барьж явахыг зөвлөдөг. Хурдан явсан машин зогсохдоо нэлээд хол явж зогсдогийг бид мэднэ. Дээрх зөвлөгөөний учрыг тайлбарлана уу.

16. Хүйтэн өдөр цасан дээгүүр явахад чахарсан дуу гардаг. Энэ ямар учиртай вэ?

17. Онгоцноос үсэрсэн шүхэрчний шүхрээ дэлгэх хүртэл хугацаанд агаараас үйлчлэх хүч, хүндийн хүчийг хөдөлгөөний хэд хэдэн агшинд вектороор дүрсэлж үзүүлнэ үү. Шүхэрчний хурд ихсэх тутам агаарын эсэргүүцлийн хүч нэмэгдэнэ гэж бодоорой.

18. Галзуу хулганад суусан хүүхдүүд босоо тойргоор эргэж байна. Сүүлчийн хүүхдэд бусад биеэс үйлчлэх хүчийг дүрсэлнэ үү.

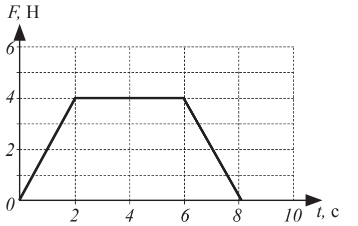
19. Үүл усны өчүүхэн дуслуудаас бүрдэнэ. Ус агаараас олон дахин их нягттай. Тэгвэл яагаад үүл унахгүй агаараар хөвөөд байдаг юм бэ?

20. Тайван байсан $m = 5$ кг масстай биед $t = 4$ с турш тогтмол F хүчээр үйлчлэн бие $\upsilon = 20$ м/с хурдтай болсон бол хүчний хэмжээг тооцоол.

21. Тайван байдлаас $a = 2$ м/с^2 хурдатгалтай $t = 10$ с турш хурдсан хөдөлсөн биеийн
    а. Туулсан замын урт
    б. Ямар хурдтай болсон байхыг
    в. Эхний 5 с-д туулсан зам
    г. Сүүлийн 5 с-д туулсан замыг тус тус олно уу.

22. Хөдөлгөөний тоо хэмжээ болон импульсийн ялгааг тайлбарлаарай.

23. Тайван байсан $m = 2$ кг масстай биед үйлчилсэн хүч хугацаанаас хамаарах хамаарлыг графикаар өгчээ. $t = 10$ с дараа биеийн хурд ямар болсон бэ?

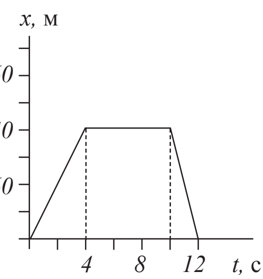


24. *Замын тойруу.* Супер -мотоциклын уралдаанд 400-600 cc (куб сантиметр) эзлэхүүнтэй хөдөлгүүр бүхий мотоциклууд ойролцоогоор 260 км/ц буюу 160 mph (миль/ц) хурдтай давхидаг. Яагаад замын тойруу дээр налж эргэдэг юм бол?

25. *Нисэх үеийн жин.* Тамирчин мотоциклтой үсрэлт хийж байхдаа суудал болон дөрөөгөө дарж байгаа болов уу? Тамирчинд ямар хүчнүүд үйлчилж байгаа бол? Дүрсэлнэ үү.

26. Биеийн координат-хугацааны график өгөгджээ. 12 с хугацаанд биеийн явсан (метр нэгжээр) замыг ол.

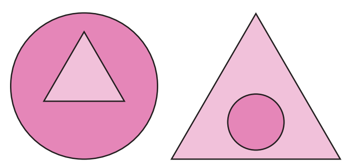
а. 0 б. 80 в. 120 г. 20



ДУЛААН БА ТЕМПЕРАТУР

1. Нэгэн сурагч “Аливаа бодис бөөмсөөс (молекул, атом) тогтдог. Хатуу биеийн бөөмс илүү шигүү, шингэний бөөмс арай сийрэг, хийн бөөмс бүр хол зайд байрладаг” гэв. Дээрх үндэслэлийг зөрчих жишээ гаргана уу. Гаргасан жишээгээ үндэслэнэ үү.

2. Дугуй ширэмний дээр гурвалжин дүрс шохойгоор зуржээ. Ширмийг жигд халаахад гурвалжны тал муруйх болов уу? Тэгвэл гурвалжин ширэмний дундаас дугуй хэсгийг зүсэж авчээ. Үлдсэн хэсгийг халаавал нүхний хэлбэр гажих болов уу?



3. Ямар үед шугаман тэлэлтийн тухай, ямар үед эзлэхүүн тэлэлтийн тухай ярьдаг вэ? Талбайн тэлэлт гэж байх болов уу?

4. Зузаан хана, ёроолтой шилэн аяганд буцлам халуун ус хийхийг хориглодог. Яагаад?

5. Аливаа инженерийн байгууламжийг бүтээхдээ болзошгүй аюулаас сэргийлж тооцоолдог. Төмрийн шугаман тэлэлтийн коэффицент $11 \cdot 10^{-6}$ м/(град·м). Монголд агаарын температур хамгийн багадаа −56°C, хамгийн ихдээ +45°C хүрсэн мэдээ бий. Төмөр замын нэг замтөмрийн урт 25 м. Нарлаг өдөр хөрсний температур агаарынхаас 10-20°C илүү байх нь элбэг. Агаарын жилийн дундаж температурыг +15°C гэвэл өвөл зам төмрийг ямар хэмжээгээр агшиж, зун ямар хэмжээгээр сунахыг тооцоол. Яагаад зам төмрийн хооронд завсар гаргадаг вэ?

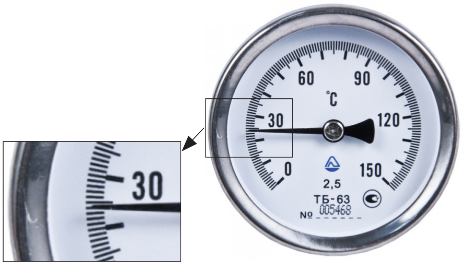
6. Өвлийн цагт жолооч нар автомашины хөдөлгүүрийг асаагаад хэсэг хугацаанд хүлээсний дараа хөдөлгөөнд оролцож байгаа харагддаг. Энэ нь ямар учиртай вэ?

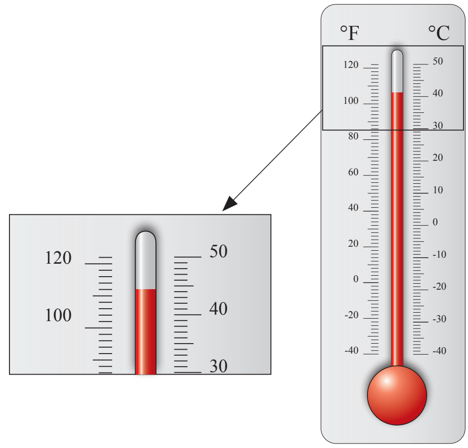
7. Нуурын мөсийг ажиглавал олон тооны ан цав гарч цуурсан харагддаг. Мөн уулын үхэр чулуу ч гэсэн ан цав, цууралт ихтэй байдаг. Яагаад цуурдаг юм бол?

8. *Термометр.* Анхны термометрүүд дулаан тэлэлтийн үзэгдэлд үндэслэсэн байв. Термометрийг бүтээхэд тэмдэгт цэг чухал үүрэгтэй байдаг. Энд температур нь гадны нөлөөнөөс маш бага хамаардаг тогтвортой утга бүхий төлөвт харгалзана гэж ойлгодог. Фарангейт усны хөлдөх цэгийг 1-р тэмдэгт цэг болгож авсан ба 32°F, усны буцлах цэгийг 212°F гэж авсан. Тэдгээрийн хоорондох зайг 180 тэнцүү хэсэг хувааж нэг 1°F (Фарангейтийн градус) гэж нэрлэсэн. Тэр уг нь хүний амны хөндийн температурыг хоёр дахь тэмдэгт цэг болгож авсан хэдий ч төдөлгүй түүнээс татгалзсан байна. Удалгүй усны буцлах цэг төдийлэн тогтвортой цэг биш болох нь тогтоогдсон.
   Цельс усны хөлдөх цэгийг 0°C, усны буцлах цэгийг 100°C гэж сонгож авсан. Тэдгээрийн хоорондох зайг 100 тэнцүү хэсэг хувааж нэг 1°C (Цельсийн градус) гэж нэрлэсэн.
   а. Хүний биеийн температурыг яагаад тэмдэгт цэгт ашиглахад тохиромжгүй вэ?
   б. Цельсийн $t°$ температур ба Фарангейтийн t_F температурын хоорондох холбоог илэрхийлэх тэгшитгэлийг бичнэ үү.

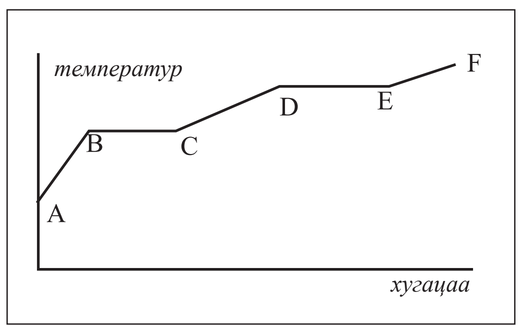
9. *Термометрийн бодис.* Термометрийг анх бүтээж байх үед термометрийн бодис болгож усыг ашиглаж байснаа удалгүй мөнгөн усыг ашиглах болсон. Бага температур хэмжихэд мөнгөн ус тохиромж муутай учир спирт хэрэглэх болсон. Харин усны буцлах температур хэмжихэд спиртэн термометр ашиглах боломжгүй байдаг. Үүний учир юу вэ?
10. *Термометрийн төрөл.* Термометрийг шингэнт, хийн, эсэргүүцлийн, хэт улаан туяаны, өнгийн, механик гэх мэтээр ангилдаг. Эдгээрийн ажиллагааны физик үндсийн талаар судалгааны илтгэл бэлтгэнэ үү. Температурын ямар мужид аль термометр тохиромжтойг харьцуулаарай.
11. Зураг дээр тасалгааны температур заагч механик термометрийг үзүүлжээ. Тохирсон температурын утгыг шингэний дунд хэсэгт хөвж байгаа хөвүүрийн зүүлт заах болно. Ямар зарчмаар ажилладаг юм бол?
12. Биеийн температур массаас хамаарах болов уу? Өөрөөр хэлбэл, биеийн массыг нэмэгдүүлэхэд температур нь өсөх болов уу? Биеийг хэсэглэн хуваавал температур нь яах бол? Энэ нь температурын ямар шинжийг харуулж байна вэ?
13. Температураас хамаарч явагддаг төлөвийн хувирлуудыг нэрлэнэ үү.

14. Зурагт үзүүлсэн термометр тасалгааны температурыг зааж байна. Температурын хэмжилтийн алдаа термометрийн хуваарийн үнэтэй тэнцүү. Термометрийн заалтын утга ба хэмжилтийн алдааг тооцон Цельс ба Фарангейт нэгжээр илэрхийлэн бичнэ үү.



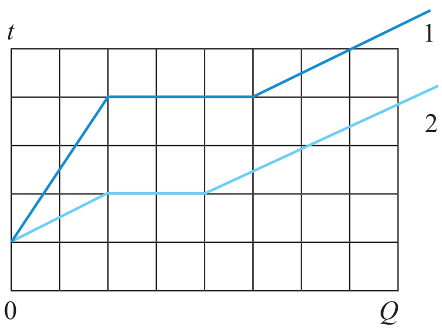


15. Дулааны тухай сургаал анх үүсэж байх үед хайлах температурт байгаа биед дулаан өгөөд байхад биеийн температур өөрчлөгдөхгүй байгааг ихэд гайхдаг байсан ба үүний улмаас хайлахын нууц дулаан гэж нэрлэдэг байв. Өгсөн дулаан нь юунд зарцуулагддаг юм бол?
16. Шүдэнзний модыг асаагаад хэвтээ чигт бариад ажиглана уу. Шатсан хэсэг дээшээ муруйж байна уу? Учрыг тайлбарлана уу. Муруйлгахгүйгээр шатаах арга бодож олно уу.
17. **Дулаан ба цахилгаан дамжуулал.** Цахилгаан дамжуулал сайтай металлын тоонд мөнгө, дараа нь зэс, хөнгөн цагаан ордог. Дулаан дамжуулах чадварын хувьд дээрх металлууд мөн ижил дараалалтай байдаг. Дулаан ба цахилгаан дамжууллын механизмын талаар юу хэлж чадах вэ?
18. Конвекц (хий шингэний урсгал), дулаан дамжуулал (дулааны хөдөлгөөн), цацралаар (цахилгаан соронзон долгион) дулаан зөөгддөг. Нарны энерги дулаан цацралаар дамжин дэлхийд зөөгддөг. Дээрх үндэслэлд нэлээд элбэг тохиолддог ташаа ойлголт агуулагдаж байдаг. Уг алдааг олно уу.
19. Мөсийг халаах туршилтын температур – хугацааны хамаарлыг үзүүлжээ. Муруйн хэсгүүд ямар процесст харгалзах вэ?



20. Өндөр уулын оройд мөнх цастай хүйтэн байдаг. Уг нь наранд ойрхон, илүү халах ёстой биш үү?
21. Хавар голын мөс эрэг орчмоос хайлж эхэлдэг, намар мөн л эрэг орчмоосоо эхэлж зайрмагтаж хөлддөг. Энэ юуг илэрхийлээд байна вэ?
22. Ус, сүү зэргийг шилэн саванд дүүртэл нь хийж таглаад хөлдөөвөл хагарах эрсдэлтэй байдаг. Энэ дулаан тэлэлтийн үзэгдэл мөн үү.
23. Мөсний хувийн дулаан багтаамж усныхаас хоёр дахин бага байдаг. Бодисын шингэн ба хатуу төлөвийн хувьд ямагт ийм ялгаатай байдаг юм болов уу?
24. Усны хувийн дулаан багтаамж металлуудынхаас олон дахин их байдаг. Жишээлбэл, зэсийн дулаан багтаамж 0.39 кЖ/кг·град байхад усных 4.2 кЖ/кг·град. Гэтэл зэс уснаас бараг 9 дахин их нягттай, зэсийн молийн масс 64 г/моль бол усных 18 г/моль. Тэгвэл дулаан багтаамж нь яагаад ийм их зөрүүтэй байгаа юм бол?

25. Бидний дунд төмөр бол хатуу биет, ус бол шингэн, азот бол хий гэсэн тогтсон ойлголт байдаг. Чи үүнтэй санал нийлэх үү?
26. Аморф биеийн тухайлбал баримлын шаврын хайлах температурыг заан хэлэхэд бэрхшээлтэй байдаг. Яагаад?
27. Задгай саванд хийсэн усны температур таглаатай байх үеийнхээс ямагт бага байдаг. Үүний учир юу вэ?
28. Улаанбаатарт цэвэр усны буцлах температур 96°C-98°C завсарт хэлбэлздэг байна Үүнийг юугаар тайлбарлах вэ?
29. Чулуун нүүрсний илчлэг 32–37 МЖ/кг, модных 8–15 МЖ/кг, бензинийх 44–46 МЖ/кг. Машин 20 км замд 1 кг бензин хэрэглэнэ гэвэл 3-5 кг орчим мод эсвэл 2 кг орчим нүүрс ашиглаад машиныг ийм зайд явуулах боломжтой гэсэн үг үү. Боломжгүй бол яагаад?
30. Дарийн илчлэг 3.8 МЖ/кг. Нүүрсний илчлэг түүнээс 8-10 дахин их. Яагаад буунд нүүрс биш дарь хэрэглэдэг вэ?
31. Бензинийг тавганд хийгээд дээр нь гал хүргэвэл зугуухан асаж дууснa. Харин бензинийг хөвөнд шингээгээд саванд хийж хэсэг сэгсрээд гал хүргэвэл хүчтэй тэсрэлт болдог. Үүний учир юу вэ? Анхааруулахад галын аюултай учир ийм туршилтыг гэртээ хийж болохгүй шүү.
32. Зурагт ижилхэн масстай хоёр биед өгсөн дулааны тоо хэмжээнээс температур хамаарах хамаарлыг дүрсэлжээ. Бие анх хатуу төлөвт оршино. Дараах дүгнэлтүүдийн аль хоёр нь үнэнд нийцэх вэ?
    A. 1-р биеийн хайлах температур 2-р биеийнхээс 4 дахин их.
    B. Хоёр бие хатуу төлөвтөө ижил хувийн дулаан багтаамжтай
    C. 2-р биеийн хатуу төлөвийн хувийн дулаан багтаамж 1-р биеийнхээс 3 дахин их.
    D. Хоёр биеийн хайлахын хувийн дулаан ижилхэн.
    E. Хоёр бие шингэн төлөвт ижилхэн хувийн дулаан багтаамжтай.



34. Хатуу биеийн хувийн дулаан багтаамжийг тодорхойлохын тулд сурагч дараах туршилт хийв. Хөнгөн цагаан калориметрт хүйтэн ус хийж, температур ба массыг хэмжив: $m_{ус}$=101 г, $t_{ус}$=31°C. Дараа нь хөнгөн цагаан биеийн массыг хэмжээд халуун усанд байлгаж усны температурыг хэмжив: $m_{бие}$=73 г, $t_{бие}$=80°C. Дараа нь биеийг хүйтэн усанд хийж дулааны тэнцвэр тогтсоны дараа эцсийн температурыг хэмжив: θ=24°C. Тэгээд дулааны балансын тэгшитгэл ашиглаж хөнгөн цагааны хувийн дулаан багтаамжийг тооцоолж олов. Энэ туршилтыг улам сайжруулах, алдааг багасгах талаар саналаа дэвшүүлнэ үү.

ЦАХИЛГААН ОРОН БА ГҮЙДЭЛ

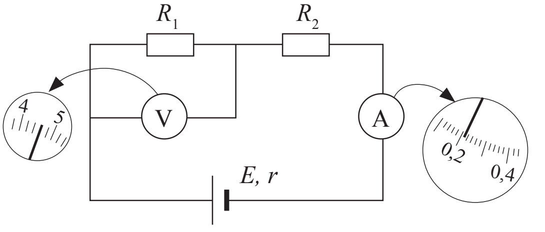
1. Хуванцар саваag цэмбэн алчуураар үрэхэд саваа сөргөөр, алчуур эергээр цэнэглэгддэг. Энэ үзэгдлийн шалтгааны талаар сурагчид дараах санаа дэвшүүлэв. Үүнд:
   Алимаа: Үрэлтийн улмаас, тодруулбал үрэлтийн хүчний үйлчлэлээр алчуурын электрон саваанд шилжсэнтэй холбоотой.
   Баяр: Үрэлтийн улмаас саваа халсан. Үрэлтийн хүчний ажлын дүнд үүссэн халалтын улмаас бие цахилгаанжсан байх.
   Хоёр биед тэнцүү хүч үйлчлэх тухай Ньютоны 3-р хууль, биеийг үрэхгүйгээр халаах боломжтой гэсэн санааг ашиглан дээрх таамаглалыг үндэслэлгүй болохыг нотолно уу.

Цахилгаанжих үзэгдлийн талаар өөрийн таамаглалаа дэвшүүлж, үндэслэнэ үү.

2. “Зэс цахилгаан сайн дамжуулдаг. Зэс бол металл. Иймд бүх металл цахилгаан сайн дамжуулна” гэсэн үндэслэлийн логик зөрчлийг илрүүлнэ үү.
3. 11 электронтой элементийг юу гэдэг вэ?
   Атом эерэг цэнэгтэй цөм, сөрөг цэнэгтэй электроноос тогтдог. Атомаас электрон салж болдог гэсэн санааг ашиглан дээрх асуултын зөрчлийг үндэслэнэ үү.
4. Цахилгаан цэнэгийн орчимд цахилгаан орон үүсдэг. Уг орныг шугамаар дүрсэлж болох бөгөөд түүнийг цахилгаан орны хүчний шугам, хүчлэгийн шугам гэдэг. Соронзон орныг мөн шугамаар дүрсэлдэг. Гэтэл түүнийг соронзон орны хүчний шугам гэж хэлэх нь зохимжгүй гэж үздэг. Үүний учир юу вэ?
5. Суперпозицийн буюу давхцлын зарчмын физик утгыг үндэслэнэ үү.
6. Суперпозицийн зарчмыг хэрэглэх жишээ хэлнэ үү.
7. Дамжуулагч утасны эсэргүүцэл R, дамжуулагчийн урт l, хөндлөн огтлолын талбай S, дамжуулагчийн материалын хувийн эсэргүүцэл ρ-ээс дараах байдлаар хамаардгийг бид мэднэ.

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

   Дамжуулагчийн эсэргүүцэл утасны уртаас хамаарах хамаарлыг судлах туршилтын төлөвлөгөө, дизайныг гаргаж танилцуулна уу.
8. Дамжуулагч дээр унах хүчдэл ба дамжуулагчаар гүйх гүйдлийн хүчний хамаарлыг судлах туршилтын дизайныг боловсруулж танилцуулна уу.
9. Хайламхай гал хамгаалагчийн бөөрөн дээр хүчдэл ба ялгарах чадлыг бичдэггүй, харин номинал гүйдлийн хүчний утгыг бичсэн байдаг. Хайламхай гал хамгаалагч ямар зарчмаар ажилладаг вэ? Тодорхой гүйдлийн хүчийг тэсвэрлэдэг гал хамгаалагч хийх даалгавар өгвөл чи утасны ямар ямар параметрт илүү анхаарал тавих вэ?
10. Багажийн хэмжих хязгаарыг ихэсгэх нь чухал шаардлага байдаг. Амперметрийн хэмжих хязгаарыг ихэсгэхийн тулд зэрэгцээ холболтын шинжийг ашигладаг. Харин вольтметрийн хэмжих хязгаарыг ямар аргаар нэмэгдүүлэх вэ?
11. Цахилгаан хэлхээний туршилтыг гүйцэтгэхийн тулд зурагт үзүүлсэн хэлхээг угсрав. Хэмжих багажуудын хэмжилтийн алдаа хуваарийн үнэтэй тэнцүү. Багажийн заалтын алдааг тооцон бичнэ үү.
    Вольтметрийн заалт = (±   ) В,
    амперметрийн заалт = (±   ) А.



12. Сурагч утасны эсэргүүцэл юунаас хамаарахыг судлахын тулд таван дамжуулагч сонгон авчээ. Эдгээрээс аль хос нь
    - эсэргүүцэл утасны уртаас хамаарах
    - эсэргүүцэл утасны хөндлөн огтлолын хэмжээнээс хамаарах
    - материалын шинж чанараас хамаарах хамаарлыг илэрхийлэхэд тохиромжтой бол?
13. 3 Ω эсэргүүцэлтэй ижилхэн гурван резистор өгөгджээ.
    А. Тэдгээрийн тусламжтай ялгаатай эсэргүүцэлтэй хэдэн хэлхээ үүсгэж болох вэ? Хэлхээний схемийг зурна уу.
    Санамж: Резистор бүрээр гүйдэл гүйх ёстой.

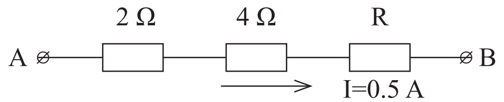
Утасны №	Утасны урт	Утасны диаметр	материал
1	4 м	1.0 мм	Зэс
2	8 м	0.5 мм	Зэс
3	16 м	1.0 мм	Хөнгөн цагаан
4	8 м	0.5 мм	Хөнгөн цагаан
5	8 м	1.0 мм	Зэс

B. Хэлхээ бүрийн ерөнхий эсэргүүцлийг олно уу.

C. Хэрэв хэлхээ бүрийг 6 В цхх –тэй батарейд залгасан бол хэлхээнд ялгарах чадлыг олно уу.

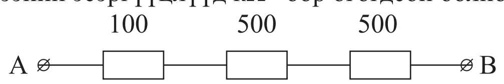
D. Хэрэв хэлхээ бүрээр 2 А гүйдэл гүйж байгаа бол хэлхээнд ялгарах чадлыг олно уу.

14. U_{AB} = 6 В бол зураг дээрх *R* эсэргүүцлийн хэмжээг ол. Гүйдлийн хүч 0.5 А.



а. 12 Ω б. 3 Ω в. 8 Ω г. 6 Ω

15. Хэлхээгээр 0.02 мА гүйдэл гүйж байгаа бол хэлхээний ерөнхий эсэргүүцэл ба нийт хүчдэлийг ол. Хэлхээний эсэргүүцлүүд kΩ –оор өгөгдсөн болно.



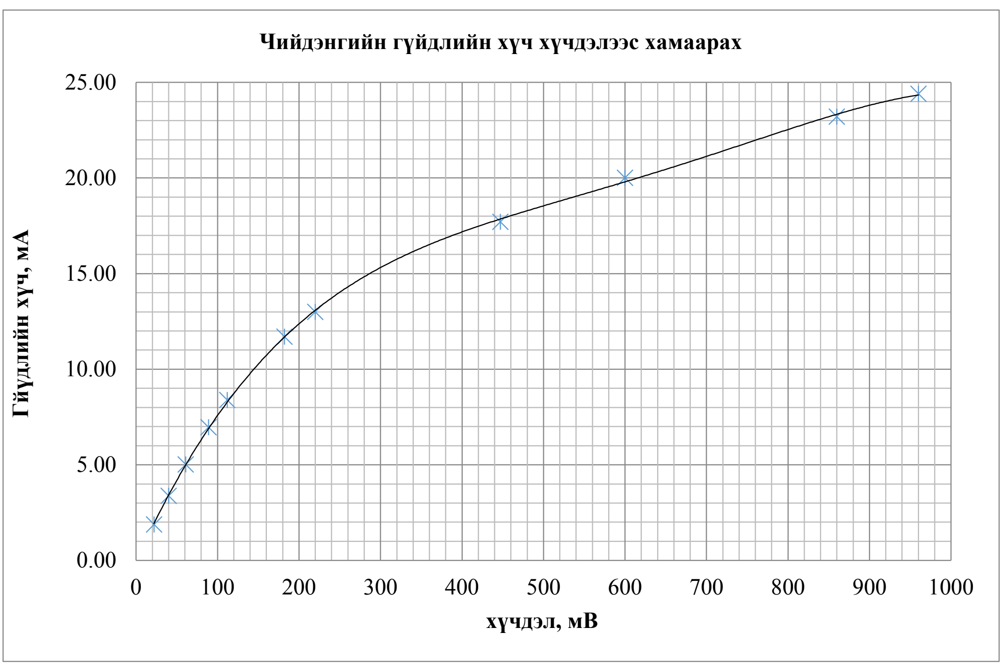
а. 1100 kΩ; 22 В б. 1100 kΩ, 220 В

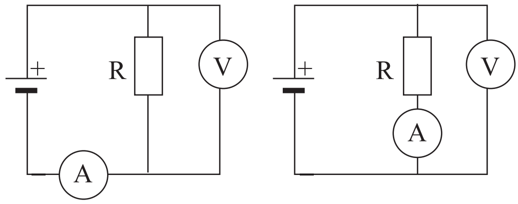
в. 14 Ω; 0.28 В г. 71 kΩ; 55 кВ

16. Улайсах утастай чийдэнгийн хүчдэл-гүйдлийн хүчний хамаарал зурагт өгөгджээ. Чийдэнгийн утасны эсэргүүцэл температураас $R = R_0(1 + \alpha \cdot t°)$ хуулиар хамаарна. R_0 = 10.5 Ω, вольфрам утасны температурын коэффицент α = 0.0045 $град^{-1}$.

0.96 В хүчдэлийн үед харгалзах чийдэнгийн утасны температурыг олно уу.

17. Резистор дээгүүр гүйх гүйдлийн хүч ба унах хүчдэлийг хэмжихийн тулд дараах хоёр хувилбарыг сонгодог.

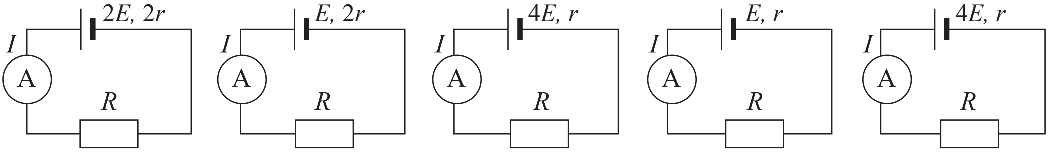




Амперметр, вольтметрийн дотоод эсэргүүцэл ба резисторын эсэргүүцлийн утгаас хамаарч, нэг нь хүчдэлийг зөв хэмжээд гүйдлийн хүчийг алдаатай хэмжих, нөгөө нь гүйдлийн хүчийг зөв хэмжээд хүчдэлийг буруу хэмжихэд хүрдэг. Үүний шалтгааны талаар юу хэлэх вэ?

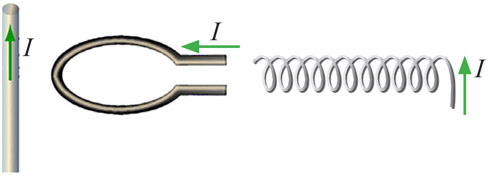
Хэрэв хэлхээний амперметрийн дотоод эсэргүүцэл $R/100$, вольтметрийн дотоод эсэргүүцэл $9R$. 1-р хэлхээний амперметрийн заалт i бол 2-р хэлхээний амперметрийн заалтыг олно уу. Үүсгүүрийн дотоод эсэргүүцэл ба дамжуулагч утасны эсэргүүцлийг тооцохгүй.

18. Сурагч бүрэн хэлхээний Омын хуулийг судалж байна. Тэрээр өөр өөр цхх, дотоод эсэргүүцэлтэй батарей ба резистор бүхий хэлхээнүүдийг үүсгэв. Эдгээрийн аль хоёр хэлхээ гадаад эсэргүүцлээс гүйдлийн хүч хамаарах хамаарлыг судлахад хэрэглэгдэх вэ?

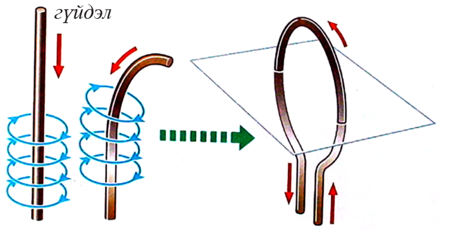


Соронзон орон

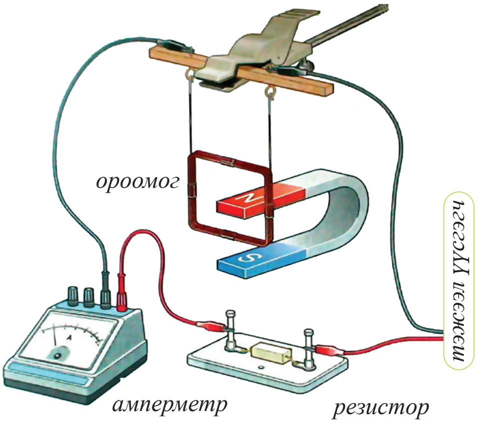
1. Данийн физикч Ханс Кристиан Эрстедийн хийсэн нэгэн ажиглалт цахилгаан соронзны онолд онцгой байр суурь эзэлдэг. Нэгэн удаа оюутнуудад лекц уншиж байхад нь санамсаргүй үйл явдал болжээ. Дамжуулагчийн дэргэд соронзон зүү байжээ. Утсаар гүйдэл гүйлгэсэн чинь соронзон зүү эргэж утсанд хөндлөн байрлахыг санамсаргүй ажиглажээ. Эрстед үүнийг нарийвчлан судалсны дүнд шинэ үзэгдлийг нээсэн байна. Энэ ямар үзэгдэл вэ? Түүний тухай юу нэмж хэлж чадах вэ?
2. Гүйдэлтэй дамжуулагч соронзон орон үүсгэдэг гэдгийг харуулах ямар аргууд байж болох вэ?
3. Зурагт гүйдэлтэй шулуун, дугуй, соленоид дамжуулагчийг үзүүлжээ. Үүсгэх соронзон орныг шугамаар дүрсэлнэ үү. Орны чигийг баруун гарыг атгах дүрмээр олоорой.



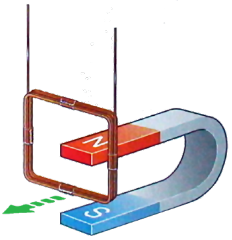
4. Гүйдэлтэй шулуун утсыг тахийлгаж дугуй болговол үүсгэх соронзон оронд ямар өөрчлөлт орох үе шатыг зургаар дүрсэлж үзүүлнэ үү. Дугуй гүйдлийн соронзон орон шулуун гүйдлийн соронзон орны ижил ба ялгаатай талыг илэрхийлнэ үү.

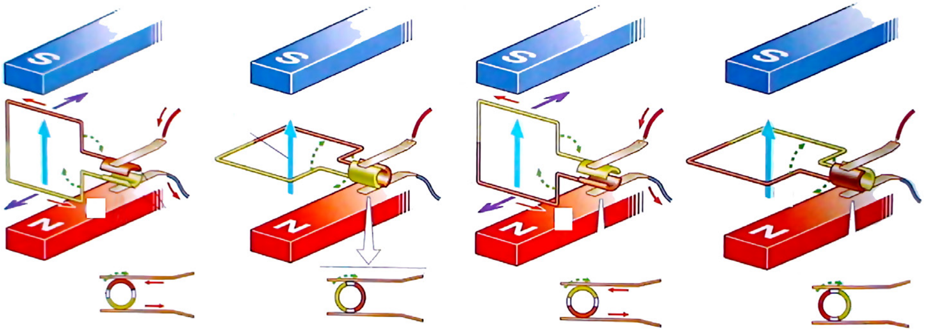


5. Гүйдлийн чиг ба гүйдлийн үүсгэх соронзон орны чигийн уялдааг харуулах туршилт сэднэ үү.
6. Дугуй гүйдлийн тоог олшруулж соленоид бүтээх алхмыг дүрсэлж үзүүл. Дугуй гүйдлийн соронзон орон ба соленоидын үүсгэх соронзон орны ижил ба ялгаатай талыг илэрхийлнэ үү.
7. Соронзон орны хэмжээ гүйдлийн хүчнээс хэрхэн хамаарахыг Жаргал үзүүлэхийг зорив. Гэвч түүний үүсгүүр 1 А –аас их гүйдэл гаргаж чадахгүй байв. Харин түүнд тусгаарлагч бүрээстэй, нэлээд урт зэс дамжуулагч утас байв. Жаргал түүнийг ашиглаж 1 А –аас их гүйдлийн хүчний хэд хэдэн утгад соронзон орны хэмжээг гар утасны аппликейшн ашиглаж хэмжиж чадав. Түүний санааны талаар чи юу хэлж чадах вэ?
8. Суперпозицийн буюу давхцлын зарчмаар соронзон орнууд векторын дүрмээр нэмэгддэг. Энэ зарчмыг ашиглаж их хэмжээний нэгэн төрөл соронзон орныг хэрхэн үүсгэх талаар саналаа дэвшүүлнэ үү.
9. Гүйдэлтэй дугуй ороомог ба соронзон зүү ашиглаж ороомгийн үүсгэх соронзон орны чигийг харуулах ямар туршилт хийж болох вэ?
10. Гүйдэлтэй хоёр ороомог ашиглаж соронзон орны шинж чанарыг харуулах ямар үзүүлэх туршилт хийж болох вэ?
11. Аялалд явсан жуулчин манан дунд төөрчээ. Түүнд гар утас, луужин байхгүй байв. Харин нарийн зэс утас, цахилгаан зай, зүү, оёдлын утас, ус, бэлэн хоолны хавтгай сав, үйсэн бөглөө, хутга зэрэг жижиг сажиг зүйлүүд байв. Эдгээрээс ашиглаж зүг чигээ олох боломж бий юу? Чи байсан бол яах вэ?
12. Улаан утсыг тэжээл үүсгэгчийн эерэг туйлд залгасан бол гүйдэлтэй жааз хаашаа хөдлөхийг дугуй гүйдлийн үүсгэх соронзон туйлыг ашиглан олно уу.



13. Гүйдэлтэй жааз соронзонд түлхэгдсэн бол гүйдлийн чигийг дугуй гүйдлийн үүсгэх соронзон туйлыг ашиглан олно уу.
14. Соронзон ба гүйдэлтэй ороомгийн хүчний үйлчлэлийг ашиглан бүтээсэн ямар ямар төхөөрөмж мэдэх вэ?
15. Тогтмол гүйдлийн цахилгаан хөдөлгүүрийн ажиллах зарчмыг тогтмол соронзны туйл ба битүү жаазны үүсгэх соронзон туйлын харилцан үйлчлэлээр тайлбарлана уу.

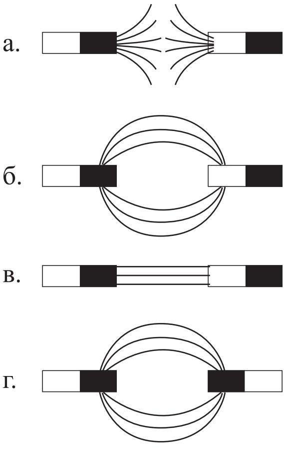




16. Дугуй ороомгийн үүсгэх соронзон орны хэмжээ ороомгийн ороодсын тоо, гүйдлийн хүч, ороомгийн диаметрээс хамаарахыг судлах зорилго тавьсан. Тэрээр дараах таван ороомог сонгож аваад гүйдэл гүйлгэжээ. Аль хос нь соронзон орны хэмжээ
   - Ороодсын тооноос хамаарах
   - Гүйдлийн хүчнээс хамаарах
   - Ороомгийн диаметрээс хамаарах хамаарлыг илэрхийлэхэд тохиромжтой вэ?

Ороомгийн №	Ороодсын тоо	Гүйдлийн хүч	Ороомгийн диаметр
1	100	2 А	10 см
2	100	1 А	5 см
3	50	2 А	5 см
4	100	1 А	10 см
5	150	2 А	5 см

17. Аль зурагт хоёр соронзон туйлын хоорондох орны шугамыг зөв дүрсэлсэн байна вэ?



18. Хоёр соронзын түлхэлцлийг аль нь зөв илэрхийлж байна вэ?
   A. Соронзууд эсрэг туйлаараа түлхэлцэнэ.
   B. Соронзын ижил цэнэгтэй туйлууд түлхэлцэнэ.
   C. Соронзын үүсгэсэн орнууд хоорондоо түлхэлцэнэ.
   D. Нэг соронзын үүсгэсэн орон нөгөө соронзод түлхэх хүчээр үйлчилнэ.
19. Соронзон зүүг цахилгаанжсан хувд ойртуулахад тэрээр татагдав. Энэ нь ... гэдгийг харуулж байна.
   A. Соронзон зүү цахилгаанжсан
   B. Хув соронзон орон үүсгэж байгаа
   C. Соронзон зүүний цэнэг туйлширсан
   D. Хув нөлөөгөөр соронзлогдсон
20. Цахилгаан хөдөлгүүрийн ажиллах зарчмыг зөв дараалуулж байрлуулна уу.
   I. Ороомгоор гүйдэл гүйнэ.
   II. Ороомгийг эргүүлэх соронзон хүч үйлчилнэ.
   III. Ороомог эргэнэ.
   A. I, II, III B. II, I, III, C. II, III, I D. III, II, I

Цахилгаан орон

Орон гэж юу вэ? Сурагчид соронзон орны талаар саналаа хуваалцаж байв.

Соёлоо: Соронзон орон бол соронзон хүч илэрч байгаа орон зай юм.

Батаа: Үгүй ээ. Орон бол орон зай биш, тэнд байгаа бодит материаллаг зүйл, гэхдээ бодис биш.

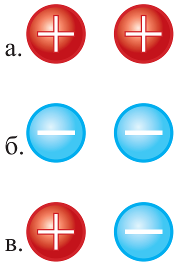
Жаргал: Орон гэхээр эх орон, тооны орон, орон тоо, гэр орон, орон зай гэх мэт ойлголттой андуурагдаад байна. Field гэсэн үгийг орчуулбал талбар гэсэн утгатай. Талбар гэвэл орон зай гэсэн утгатай яг дүйнэ.

Сайнаа: Орны шинж чанар нь чухал. Орнууд таталцдаг, мөн түлхэлцдэг. Тийм болохоор соронзын ижил туйлуудын үүсгэх орны шугам нь муруйдаг.
Тамир: Орнууд хоорондоо үйлчилдэггүй байх аа. Харин орон нэмэгддэг. Орон биед үйлчилдэг.
Орны талаар өөрийн байр сууриа илэрхийлнэ үү.
Орны шинж. Соронзын орчимд зайнаас харилцан үйлчлэлийг дамжуулагч орон хэмээх материалаг зүйл үүсдэг. Орон бол материйн нэг өвөрмөц хэлбэр юм. Соронзон орон оршин байгааг соронзон зүүнд, төмөрлөг биетэд, гүйдэлтэй дамжуулагчид үйлчлэх хүчний үр дагавраар нь илрүүлдэг. Бид соронзон орны төрхийг төмрийн үртсээр харуулдаг. Тэгвэл цэнэгтэй биес мөн зайнаас харилцан үйлчилдэг. Цэнэгтэй биеийн орчимд цахилгаан үйлчлэлийг дамжуулагч орон үүсдэг. Түүнийг цахилгаан орон гэдэг.

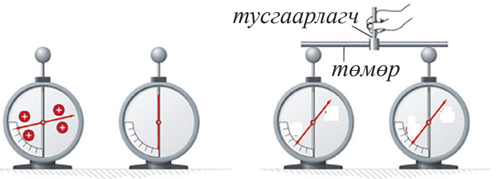
1. Цахилгаан ба соронзон орон ямар онцлогтой талаар ярилцаж дараах хүснэгтийг бөглөнө үү.

Шинж	Цахилгаан орон	Соронзон орон
Хаана үүсдэг вэ?		
Хэрхэн илрүүлэх вэ?		
Хэрхэн дүрслэх вэ?		
Орны шугамын онцлог		

2. Зурагт ижил хэмжээний цэнэгүүд өгөгджээ. Үүсэх цахилгаан орныг шугамаар дүрсэлнэ үү.



3. Цахилгаан орны хэмжээ биеэс холдоход багасдаг. Үүнийг харуулах туршилт сэднэ үү.
4. Цахилгаан цэнэг устахгүй, шинээр үүсэхгүй, системийн цэнэг хадгалагддаг. Цэнэг хадгалагдах хуулийг цахилгаанжих үзэгдэл, химийн урвалд хэрэглэх жишээ гаргана уу.
5. Зурагт хоёр электроскопын нэгийг нь цэнэглэжээ. Тэдгээрийг төмрөөр холбоход хоёр электроскопын дэлбээ дэрвийжээ. Юу болсон бэ?



6. *Аянга.* Ихэвчлэн аянга үүлнээс газар руу буудаг. Аянганы үргэлжлэх хугацаа 0.25 с, гүйдлийн сувгийн өргөн 1 см, гүйдлийн хүч 100 000 А, сувгийн температур 30 000 К орчим байдаг.

   Аянганы үед ямар хэмжээний цэнэг газар руу урсах вэ? Сувгаар ямар цэнэг урсдаг юм бол?
   Яагаад их хэмжээний дуу чимээ, гэрэл гардаг юм бол?

Хэлбэлзэл ба дуу

1. Сурагч пүршин дүүжингийн хэлбэлзлийн үе нь зүүсэн ачааны массаас хамаарах хамаарлыг судлахыг хүсэв. Үүний тулд 5 дүүжинг сонгосон ба тэдгээрийн параметрийг хүснэгтэд үзүүлэв. Эдгээрийн аль хоёр нь дээрх даалгаварт харгалзах вэ?

Дүүжин №	Пүршний хат	Ачааны масс	Ачааг хийсэн материал
1	30 Н/м	100 г	Зэс
2	20 Н/м	200 г	Ган
3	20 Н/м	300 г	Хөнгөн цагаан
4	20 Н/кг	100 г	Ган
5	40 Н/кг	200 г	Хөнгөн цагаан

2. Хэлбэлзлийг чөлөөт, унтрах, албадмал хэлбэлзэл гэх зэргээр ангилдаг. Эдгээр хэлбэлзлийн гол параметрүүдийн онцлогийг дараах хүснэгтэд ялгаж бичнэ үү.

Параметр	Чөлөөт хэлбэлзэл	Унтрах хэлбэлзэл	Албадмал хэлбэлзэл
Хэлбэлзэгч биед үйлчлэх хүч			
Далайц – хугацааны хамаарал			
Энерги			

3. *Дуу.* Сурагчид дуу гэж юу болох талаар мэтгэлцэв.

   Ариунаа: Дуу бол сонсогдож байгаа зүйл. Сонсохгүй бол дууны тухай ойлголт байхгүй. Хүний сонсох 20-20 000 Гц давтамжтай харимхай долгионыг дуу гэнэ.

   Жаргал: Хэт авиа, инфра дуу гээд хүний сонсохгүй дуу байдаг шүү дээ. Зарим амьтан хэт авиаг сонсдог. Тэгэхээр дуу гэдгийг зөвхөн хүний сонсголоор хязгаарлаж болохгүй байх.

   Соёлоо: Дуу гэдэг нь өргөн утгаараа харимхай орчинд механик хэлбэлзэл тархах үзэгдэл. Заавал чихтэй холбоод байх шаардлага байхгүй. Явцуу утгаар нь чихтэй холбож болох байх.

   Сайнаа: Хэлбэлзэл гэхээр үе, давтамж гээд ойлголт хэрэгтэй. Дуу заавал үетэй, давтамжтай байх албагүй байх. Жишээ нь цохилтын долгион. Цохилтын долгион бол хэлбэлзэл биш, импульс дамжих процесс.

   Тамир: Соёлоогийн хэлдгээр далайн давалгаа дуу юм байна л даа. Тийм үү?

   Дуу гэж юу болох талаар өөрийн байр сууриа илэрхийлнэ үү.

4. *Дууны хурд***.** Сурагчид дуу тархах хурд юунаас хамаарах тухай мэтгэлцэв.

   Билгүүн: Дуу тархах хурд $\upsilon = \lambda \cdot \nu$ томьёогоор илэрхийлэгддэг. Иймд дуу тархах хурд долгионы урт, давтамж хоёроос шууд пропорционалаар хамаарна. Иймд өндөр давтамжтай дуу их хурдтай тарна.

   Энхжин: Үүнтэй санал нийлэхгүй байна. Давтамж их бол долгионы урт бага байдаг. Иймд долгионы урт давтамж хоёрын үржвэр давтамжаас хамаарахгүй тогтмол байна.

   Саруул: Дуу тархах хурд орчны шинж чанараас хамаарах байх гэжээ.

   Оюун: Эгшигт авианууд өөр өөр давтамжтай байдаг. Дууны хурд давтамжаас хамаардаг юм бол зэрэг дуугарсан өөр өөр авиа чихэнд өөр өөр хугацаанд ирэх ёстой. Магадгүй

сүүлд гарсан дуу түрүүлж ирэх тохиолдол гарна.

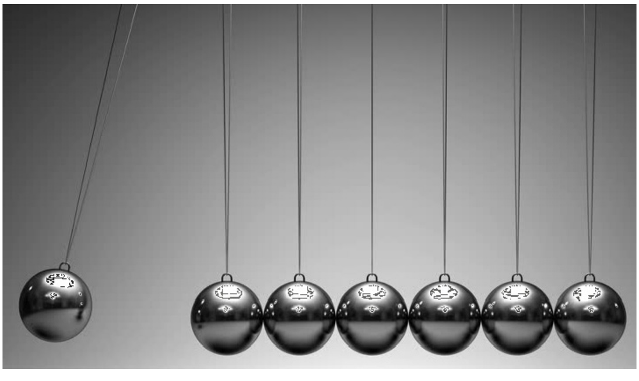
Чамд ямар нэг санал байна уу?

5. Хоосон анги цуурай ихтэй байдаг. Яагаад? Ангийн цуурайг багасгахын тулд юу хийх хэрэгтэй вэ?
6. Хийл хөгжмийн эд ангиудыг нэрлэнэ үү. Үүргийг нь заагаарай.
7. *Чавхдаст хөгжим.* Чавхдаст хөгжмийн утас бүдүүн нарийн байдгийг бид мэднэ. Хөгжмийн утаснуудын гаргаж буй дууны өнгө өөр хоорондоо ялгаатай байдаг. Энэ нь юутай холбоотой бол?

8. Хөгжимчин гитарын чавхдас утсыг хуруугаараа дарж гарах дууны өнгийг өөрчилж байгаа харагддаг. Үүнийг физикийн хувьд юу гэж тайлбарлах вэ?
9. Долгион ба хэлбэлзэл ямар ялгаатай вэ?
10. Нэг орчинд хэд хэдэн долгион зэрэг давхцан тарж байж болно. Тэгвэл эдгээр долгионууд бие биедээ хэрхэн нөлөөлдөг юм бол?
11. Агаарт дээшээ, доошоо тарж байгаа дууны аль нь хурд ихтэй тархах бол? Яагаад? Агаарын температур өндрөөс хамаарахгүй тогтмол гэж үз.
12. Усан дээр чулуу шидэхэд дугуй цагариг үүсдэг. Энэ цагаргийн тархах хурд юунаас хамаарах бол? Түүнийг хэрхэн судлах вэ?
13. Долгионы урт гэж юу вэ? Долгионы урт юунаас хамаарах вэ?
14. Долгион тархах хурдыг долгионы уртыг үед хувааж олж болно.

$$\upsilon = \frac{\lambda}{T}$$

15. Эндээс долгион тархах хурд долгионы урт ба үеэс хэрхэн хамаарах талаар юу хэлж чадах вэ?
16. *Машины хурд.* Замын цагдаагийн машины хажуугаар дүрэм зөрчигч давхиж өнгөрөв. Цагдаа дүрэм зөрчигчийн хурдыг хэмжив. Цагдаа ямар аргад суурилсан багаж хэрэглэсэн бэ?



17. *Дүүжингийн систем.* Зурагт үзүүлсэн утсанд зүүсэн бөмбөрцгийн системийн нэгийг нь хазайлгаж, тавихад

нөгөө захын нэг бөмбөрцөг мөн тийм зайд хазайж байв. Хоёр бөмбөрцөг зэрэг хазайлгаж тавихад нөгөө захаас хоёр бөмбөрцөг цохигдон хазайв. Хэрэв гурван бөмбөрцгийг хазайлган тавибал яах бол? Учрыг тайлбарлана уу.

Гэрэл

1. *Нарны хор.* Нэгэн телевизээр “11-17 цагийн хооронд нар хүчтэй хор ялгаруулдаг” гэсэн урсдаг зар олонтаа гарлаа. Энэ текстийг шинжлэх ухааны үүднээс задлан шинжилж, текстийг уртасгахгүйгээр зөв болгон засварлана уу.
2. *Гэрэл үүсгэгч.* Дунд ангид гэрэл үүсгэгчдийг нэрлэнэ үү гэхээр нар, галын дөл, асаж буй чийдэн гэх мэтээр хариулдаг. Гэрэл гэдгийг хүний нүдний мэдрэх чадвартай холбож ойлгодог. Тэгвэл одоо ахлах ангийн сурагчийн хувьд гэрэл, гэрэл үүсгэгч гэдгийн дор юу ойлгож байна вэ?
3. *Гэрлийн онцлог.* Гэрэл гэж юу вэ? Гэрэл бодистой харилцан үйлчлэхтэй холбоотой ямар үзэгдлүүд мэдэх вэ?
4. Говьд зуны халуунд зэрэглээ үүссэн байхыг бид олонтаа харсан. Аагим халуунд хол байгаа юм жирвэлзэж, уул бэлгүй харагдах нь бий. Эсвэл хол байгаа тэмээ өндөр болж харагддаг. Дуу бараг сонсогддоггүй. Үүний шалтгааны талаар юу хэлж чадах вэ?

5. Хавтгай толь, өнцөг хэмжигч, лазер ашиглаж, толин ойлтын зүй тогтлыг харуулах туршилт сэднэ үү.
6. Цахилгаан эрчим хүчийг гаргахдаа өөр үүсвэрийг хувиргадаг. Энд ямар ямар аргуудыг ашигладаг вэ?